

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**U. N. A.**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**FACEN**

**DISTRIBUCIÓN DEL ACUÍFERO PATIÑO EN  
PARAGUAY**

Angel Maria Spinzi Mendonca

ORIENTADOR: PROF. GEÓL. M.Sc. FÉLIX BENJAMÍN VILLAR

CO – ORIENTADOR: PROF. DR. CESAR ARCE.

Tesis presentada a la Escuela de Estudios de Postgraduación Académica –  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de  
Asunción como requisito para la obtención del grado de Magíster en  
Hidrogeología. Curso de Maestría en Hidrogeología. Departamento de  
Geología

Asunción – Paraguay

Febrero 2008

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN**

**U. N. A.**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**FACEN**

**DISTRIBUCIÓN DEL ACUÍFERO PATIÑO EN  
PARAGUAY**

Angel Maria Spinzi Mendonca

TOMO N° I  
TEXTO

Tesis presentada a la Escuela de Estudios de Postgraduación Académica – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción como requisito para la obtención del grado de Magíster en Hidrogeología. Curso de Maestría en Hidrogeología. Departamento de Geología

Asunción – Paraguay

Febrero 2008

**En Homenaje  
Al Señor Jesucristo  
Y a mis amados nietos  
Tobías y Mateo.**

**Les Dedico  
A mi amada compañera del viaje de la vida y  
los desvelos  
A mis queridos hijos:  
Enrique, Andi, Raúl, Nati y Santi.  
A mis queridos padres  
A mis queridos hermanos**

## AGRADECIMIENTOS

- Agradezco la invaluable ayuda y guianza, con la vasta experiencia que le distingue, al Profesor Hidrogeólogo Master, Félix Benjamín Villar, Consultor, Especialista en Tecnologías del Agua y del Ambiente, que me llevó de la mano hasta la meta anhelada y mi orientador en la tesis.
- Por el desinteresado apoyo profesional, de mi Co – orientador, Profesor Doctor, Cesar Arce, Especialista en las Ciencias Químicas, tan útiles para conocer las consanguinidades de las aguas subterráneas.
- Al Rector de la Universidad Nacional de Asunción, Profesor Ingeniero Agrónomo Pedro Gerardo González González, por hacer posible un Postgrado tan especializado en nuestra casa de estudios.
- Al Profesor Master Constantino Nicolás Guefos Kapsalis, M. A. E. Decano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por darme la oportunidad de mejorar los conocimientos, en pro de nuestro querido Paraguay.
- Al Profesor Master Juan Carlos Velázquez M, Coordinador de la Maestría en Hidrogeología, por tan loable emprendimiento, para realce de la Profesión.
- Al Profesor Licenciado Alfredo Garcete, Director del Departamento de Geología de la FACEN – UNA y autoridades de la Institución, por el incansable apoyo que me brindaron, durante esta investigación.
- Al Profesor Víctor Franco, que está al frente de la Dirección de Recursos Minerales (MOPC), muchos reconocimientos geológicos lo hicimos juntos, me ha ayudado con abundantes informaciones y conocimientos; su contribución es de gran estima.
- A las autoridades del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (Paraguay), por apoyarme y brindarme capacitación permanente, de manera a propender hacia la excelencia, para servir mejor a nuestro pueblo.

- A los compañeros de ruta en la Maestría de Hidrogeología, por compartir tan gratos momentos durante el curso y por los conocimientos que me brindaron durante el paso por las aulas.
- Al especialista en petrografía, Geólogo Narciso Cubas, por los análisis petrográficos realizados y los conocimientos sobre los temas de esta investigación, que con gran paciencia y generosidad, me ha prodigado.
- A los profesores de cada módulo, que nos han llenado de nuevos conocimientos y nos entregaron en las manos nuevas herramientas para entender el universo de la Hidrogeología.
- Al cuerpo técnico de la UNA y del MOPC, por el auxilio provisto en el arduo paso para la post graduación.
- A mi asistente, Ángel Santiago Spinzi, por las altas horas de la noche, en las que generosamente entregaba su tiempo y capacidad, para plasmar los resultados de ésta investigación.
- A toda mi familia de sangre y espíritu, por el aliento incansable, para alcanzar el destino de ésta travesía.

# DISTRIBUCIÓN DEL ACUÍFERO PATIÑO EN PARAGUAY

Autor: Angel María Spinzi Mendonca

Orientador: Prof. M.Sc. Félix Benjamín Villar

## RESUMEN

El Acuífero Patiño, conocido antes del inicio de la investigación, involucraba a dos pequeñas partes de los Departamentos Central y Paraguarí. En base a publicaciones científicas, se encontró igual material geológico a 400 kilómetros, por otro investigador. El hecho generó la hipótesis, de que los materiales conformantes del Acuífero Patiño, no se restringen exclusivamente a pequeñas localidades, sino se extiende más allá de los Departamentos conocidos. Se realizó una recopilación de materiales bibliográficos y cartográficos, luego estudios geológicos en el terreno, abarcando casi toda la república, enmarcados sobre programas cronográficos, acordes a los montos financieros calculados en un anteproyecto.

Como conclusión principal de la investigación, se comprobó que la Formación Patiño se extiende en el territorio nacional.

Palabras clave: Acuífero Patiño - Materiales bibliográficos y cartográficos – estudios geológicos.

# THE PATIÑO AQUIFER DISTRIBUTION IN PARAGUAY

Author: Angel María Spinzi Mendonca

Advisor: Prof. M. Sc. Felix Benjamin Villar

## SUMMARY

Patiño Aquifer, known before the commencement of the research, embraced two small parts of the Departments Central and Paraguari. Based on scientific publications the same geological material was found by another researcher at 400 kilometers of distance. That fact generated the hypotheses that material conforming the Patiño Aquifer, are not restricted exclusively to small localities, rather it extends beyond the above mentioned Departments. A recompilation of bibliographic and cartographic material was made, and then geological studies were made in situ, comprehending almost the whole country, enclosed on chronogram programs, according to financial amounts figured out in a preliminary project.

As the main conclusion of the research, it was proved that the Patiño Formation extends throughout and in the neighbour countries as well.

Key words: Patiño Aquifer – bibliographies and cartographies materials – geological studies

# ÍNDICE

	<u>Página</u>
Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN _____	9
Capítulo 2 – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA _____	12
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA _____	12
2.1. REVISIÓN CARTOGRÁFICA _____	16
Capítulo 3 – METODOLOGÍA _____	19
3.1. METODOLOGÍA De GABINETE _____	20
3.2. METODOLOGÍA De CAMPO _____	22
3.3. METODOLOGÍA De LABORATORIO _____	23
Capítulo 4 – MATERIALES UTILIZADOS _____	26
Capítulo 5 – ACUÍFEROS Del PARAGUAY _____	30
Capítulo 6 – GEOLOGÍA Y TECTÓNICA Del PARAGUAY _____	51
Capítulo 7 – Consideraciones sobre el Acuífero Patiño _____	68
Capítulo 8 – DISCUSIONES _____	73
Capítulo 9 – RESULTADOS _____	75
Capítulo 10 – CONCLUSIONES _____	76
Capítulo 11 – RECOMENDACIONES _____	78
BIBLIOGRAFÍA _____	79
Anexos – Tomo II	

## Lista de fotografías – PETROGRAFÍA

F1: Análisis Petrográfico – Arenisca _____	1
F2: Análisis Petrográfico – Arenisca _____	1-2
F3 Análisis Petrográfico – Arenisca _____	2
F4 Análisis Petrográfico – Arenisca _____	2
F5 Análisis Petrográfico – Arenisca _____	3
F6 Análisis Petrográfico – Arenisca _____	3

F7 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	3
F8 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	3-4
F9 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	4
F10 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	4-5
F11 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	5
F12 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	5
F13 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	5
F14 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	6
F15 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	6
F16 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	6-7
F17 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	7
F18 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	7-8
F19 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	8
F20 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	8-9
F21 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	9
F22 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	9
F23 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	10
F24 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	10
F25 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	10
F26 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	10-11
F27 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	11
F28 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	11-12
F29 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	12
F30 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	12-13
F31 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	13
F32 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	13
F33 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	14
F34 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	14
F35 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	14
F36 Análisis Petrográfico – Conglomerado_-----	14-15
F37 Análisis Petrográfico – Arenisca_-----	15

F38 Análisis Petrográfico – Arenisca_	15-16
---------------------------------------	-------

### Lista de fotografía – GEOLOGÍA

F39 Arenisca Eólica_	17
F40 Formación Yaguarón_	17
F41 Arenisca Pérmica_	17
F42 Arenisca Pérmica_	17
F43 Formación Patiño_	17-18
F44 Formación Patiño_	18
F45 Formación Patiño_	18-19
F46 Formación Patiño_	19
F47 Formación Patiño_	19-20
F48 Formación Patiño_	20
F49 Formación Patiño_	20-21
F50 Formación Yaguarón_	21
F51 Formación Patiño_	21-22
F52 Formación Patiño_	22
F53 Formación Yaguarón_	22-23
F54 Formación Yaguarón_	23
F55 Formación Yaguarón_	23-24
F56 Formación Yaguarón_	24
F57 Formación Yaguarón_	24-25
F58 Remanente de Arenisca_	25
F59 Meta – Arenisca_	25-26
F60 Cordillera de Amambay_	26
F61 Suelo Arenoso_	27
F62 Remanente de Arenisca_	27-28
F63 Formación Yaguarón_	28
F64 Suelo Residual de la Formación Yaguarón_	28-29
F65 Formación Yaguarón_	29
F66 Formación Yaguarón_	29-30

F67 Formación Yaguarón	30
F68 Formación Yaguarón	30
F69 Suelo Residual de la Formación Yaguarón	31-32
F70 Formación Chaco	32
F71 Formación Chaco	32
F72 Formación Chaco	33
F73 Trabajos Laboratoriales	33-34
F74 Hallazgos Fosilíferos	34
F75 Formación Yaguarón	34
F76 Remanente de la Formación Yaguarón	35
F77 Trabajos Laboratoriales	35-36
F78 Localidad Tipo del Patiño	36
F79 Valle Rift de Ypacarai	36-37
F80 Valle Rift de Ypacarai	37
F81 Campo de Lavas – TRAPPS	37-38

### Lista de Gráficos

ANEXO N° 1 – BOSQUEJO GEOLÓGICO
ANEXO N° 2 – CUENCA DEL PARANÁ – ESTRUCTURA
ANEXO N° 3 – MAPA GRAVIMÉTRICO
ANEXO N° 4 – DERIVA CONTINENTAL
ANEXO N° 5 – PLATEAU BASALTICO
ANEXO N° 6 – CUENCA DEL PARANÁ – GEOLOGÍA
ANEXO N°7 – ESTRUCTURAS ROTACIONALES – PARAGUAY
ANEXO N° 8 – MAPA AEROMAGNÉTICO
ANEXO N° 9 – POSICIÓN ANTIGUA DE SUD – AMÉRICA
ANEXO N° 10 – SIAL Y SIMA
ANEXO N° 11 – AREAS PROBLEMAS
ANEXO N° 12 – ACUIFERO PATIÑO - DISTRIBUCIÓN

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

La presente investigación abarca aspectos trascendentales para el Acuífero Patiño de la República del Paraguay, dado que surte agua a gran parte de los habitantes del país. Su conocimiento más profundo beneficia a la nación, de manera a mejores planificaciones futuras y así encarar un óptimo aprovechamiento en forma sostenible. Muchas ya son las investigaciones realizadas, pero aún insuficientes hasta la fecha. Ésta contribución daría pautas para una mejor explotación, con información extensional, composicional y generacional del Acuífero Patiño.

La naturaleza composicional del Acuífero, tiene influencia sobre las aguas que circulan en su seno, en cuanto a los niveles donde se localizan, para posibles usos.

Importantes factores para el manejo de los acuíferos, son sus tiempos y espacios, influyendo en regiones geográficas amplias, con intervención con la maduración de los componentes, es decir buena o mala diagénesis.

Los conocimientos actuales, entregan bases que de ser utilizables, establecerán nuevos modelos de interpretaciones que redundarán beneficios. La presente investigación da énfasis en los factores extensionales, composicionales y temporales, de los componentes del Acuífero Patiño en el Paraguay, trazando como tres objetivos del trabajo. Estos determinaran la distribución en condiciones estructurales, de los componentes coetáneos o réplicas de estructuras que alojaron otros componentes del Acuífero Patiño en el Paraguay.

En este concepto, los objetivos son conocer el Acuífero Patiño en base a la distribución en el Paraguay, sus componentes y su génesis.

El logro de los objetivos, podrán demostrar la siguiente hipótesis: el Acuífero Patiño se extiende y tiene réplicas similares, de la misma edad, más allá, del área comprendida, entre los Valles de Ypacarai, Río Caañabé y Río Paraguay.

Sustancias que ingresan en las composiciones de las aguas subterráneas, de pronto las tornan más agresivas, de acuerdo al ión inter – actuante, de modo que su campo de acción, dice mucho en cuanto a la carga química. Así la química de las aguas es interaccionante con la tectónica, la estratigrafía, la geología, la petrología, las estructuras y mineralogías.

No se pretende con ésta investigación llegar al conocimiento perfecto de la problemática, cual es la distribución de los componentes, para el mejor uso de las aguas subterráneas. El tema es muy amplio de manera que la investigación alcanzará una pequeña parte del universo geológico.

Actualmente el concepto de la distribución puede estar siendo afectado por problemas de variaciones litológicas, que producen confusiones en el seguimiento de los horizontes, más acentuado en áreas en donde las interdigitaciones, corresponden a mantos mixtos, es decir ígneo – sedimentario, que se prestan a nuevas nomenclaturas estratigráficas, sin tener en cuenta sincronismos geológicos. Desde esta óptica también se pretende corregir inútiles e inflacionarios términos formacionales, a fin de simplificar y ubicar correctamente, materiales coetáneos del universo del Acuífero Patiño.

El gran paquete reservorio de aguas subterráneas, se sabe que no es perfectamente uniforme, obligando a diferenciar unidades, horizontes acuíferos y no acuíferos, que más tarde demarcan el verdadero contexto acuífero, petrológico y estratigráfico.

Las estructuras geológicas de alguna manera intervienen como barreras hidrogeológicas, confinando espacios hidráulicos, estas son patentes aún en áreas acuíferas libres.

La importancia del tema elegido, se justifica por el hecho que solamente en el Bloque Asunción, se estableció el treinta y tres por ciento de la población nacional, lo que supera todas las expectativas.

---

La presente investigación, es parte del proceso para alcanzar el grado de Maestría en Hidrogeología, dictado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, de la Universidad Nacional de Asunción, FACEN – UNA.

Mediante la investigación realizada, para esta maestría, según Ayala, et al 2006; se tiene un concepto más claro del Bloque de Asunción que contiene el Acuífero Patiño. En base a estos nuevos conocimientos, se procedió a intensificar la investigación, con respecto, a distribución, composición y génesis de los materiales que lo conforman.

El Bloque de Asunción, se convertirá a futuro, en una dramática situación, por la contaminación de las napas que hoy día son explotadas, para consumo humano, agro – ganadero e industrial.

El Acuífero Patiño que ocupa el Bloque de Asunción, es principalmente del tipo libre, condición que lo expone a procesos alarmantes de polución, producto en primer lugar de la actividad antrópica.

Una gestión y manejo adecuado, lo convierte en un bien auto – sostenible, de carácter renovable, caso contrario se convertirá en un recurso hidrogeológico no renovable. La explosión demográfica, ya es una realidad actual, que resulta en una serie de cordones habitacionales, alrededor de áreas metropolitanas, con sociedades no planificadas en escasos recursos y de altos hacinamientos humanos.

Las zonas sobrepobladas se denominan villas, no cuentan con adecuados sistemas de evacuación de desechos, lo que resiente directamente al sistema acuífero del Bloque de Asunción.

---

## CAPÍTULO 2

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA

Antes de abordar los ítems del capítulo en sí, es conveniente poner en claro algunos conceptos hidrogeológicos, como ser:

Acuifugo: formación geológica que por su naturaleza, no permite albergar agua libre en su seno, no así agua de cristalización.

Acuitardo: formación geológica que por su naturaleza, permite albergar agua libre en su seno, pero la entrega lentamente, debido a la baja permeabilidad de sus componentes.

Acuicludo: formación geológica que por su naturaleza, permite albergar agua libre en su seno, pero no la puede entregar, o si lo hace, el proceso es extremadamente lento, debido a componentes impermeables en su mayoría.

Acuífero: formación geológica que por su naturaleza, permite albergar agua libre en su seno y además la puede entregar fácilmente, debido a sus componentes permeables.

#### **2.1 Revisión bibliográfica.**

Se han consultado grandes volúmenes bibliográficos, específicamente aquellos relacionados a la Formación Geológica del Patiño, figuran en la bibliografía, pero se discuten los principales para alcanzar los objetivos de la investigación.

Fueron recopilados materiales bibliográficos, adecuadamente procesados en el gabinete, bajo la estricta supervisión del orientador y co – orientador.

La matriz para denominar a un acuífero en el Paraguay, es el “CÓDIGO PARAGUAYO DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA”, que fue elaborado por geólogos nacionales e internacionales, en el mes de julio, del año 1.985 y presentado, en la “PRIMERA CONVENCION REGIONAL DE

---

NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA”, realizada en la Ciudad de Asunción – Paraguay, y la “TERCERA REUNIÓN INTERNACIONAL DEL PROYECTO N°193, DEL SILÚRICO – DEVÓNICO”, durante los días 22 al 26 de septiembre del año 1985. La convención fue organizada por el Comité Paraguayo para el Programa de Correlación Geológica Internacional, la Comisión de Desarrollo Regional Integrado del Chaco y las Naciones Unidas – PNUD – DTCD, con los auspicios de la Asociación de Geólogos del Paraguay, el Instituto de Ciencias Básicas - UNA y el Centro Paraguayo de Ingenieros.

A continuación se transcribe un historial de la Formación Geológica “PATIÑO”, para el posterior avance de la investigación.

En el año 1980, la Dirección de Recursos Minerales, dependiente del Gabinete del Viceministro de Minas y Energía, del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, realizó actividades de reconocimientos geológicos. En ese entonces se levanto la columna estratigráfica del cerro enclavado en la localidad de “PATIÑO, distrito del Municipio de la Ciudad de Itauguá – Paraguay. Se debe destacar que el referido Cerro, también lleva el nombre: “PATIÑO”, y fue designado como “Localidad Tipo”, en el marco del “Código Estratigráfico Paraguayo”. Más tarde publicado en la “SERIE CIENTIFICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN, UNA”, Año: 1983. Aquí se propuso como “UNIDAD ESTRATIGRÁFICA FORMAL”, denominada con el nombre: “CONGLOMERADO PATIÑO O FORMACIÓN PATIÑO”, aunque ya en el trabajo del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, del año 1982, realizado para asesorar a las cátedras de geología, mineralogía y petrografía, del cuarto curso civil y segundo curso, del plan para topógrafos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional de Asunción – UNA, se propuso como: “CONGLOMERADO PATIÑO”, página número 15 y re – impresión, número 18, cuyo título reza: “GEOLOGÍA DEL PARAGUAY ORIENTAL Y CONSIDERACIONES EN APLICACIONES DE INGENIERIA”, Spinzi 1982 (Ver Bibliografía).

Más tarde, en el año 1986, el programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, PNUD; a través del Departamento de Cooperación Técnica para el desarrollo,

conviene en denominar: “FORMACIÓN PATIÑO”, a toda la columna estratigráfica, que corresponde actualmente al “ACUÍFERO PATIÑO”, pero lo extiende hasta la región de Sapucaí RIFT de Ybytymi.

El Acuífero Patiño se encuentra encajado en el “BLOQUE DE ASUNCIÓN”, Spinzi 1993 (Ver bibliografía), cuyas coordenadas geográficas, corresponden a los meridianos: cincuenta y siete grados, diez minutos y cincuenta y siete grados, cuarenta y cinco minutos de longitud oeste. Los paralelos: veinte y cinco grados y el paralelo veinte y cinco grados, cuarenta minutos de latitud sur, sobre la margen oriental del Río Paraguay, región oriental del país. Incluye principalmente áreas urbanas como:

Primera Región Norte: Piquete cué, Limpio, Mariano Roque Alonzo, Luque, Aregua, Patiño, Capiatá, Itauguá, Ypacarai, Pirayú y Paraguari.

Segunda Región Sur: Asunción, Fernando de la Mora, San Lorenzo, Lambaré, Villa Elisa, Ñemby, San Antonio, Ypané, Guarambaré, J. Augusto Saldibar, Itá y Yaguarón.

La presente investigación es respetuosa del Código Estratigráfico Paraguayo, así como también de los autores precursores de nuestra estratigrafía, teniendo en cuenta sus obras en el campo geológico, en pro del mejor conocimiento del país, para así entender el contexto regional sud – americano.

En el año 1991, se publica en la Revista Geológica, AGP, N°1: Páginas: 77 – 83, el Trabajo titulado: “LA FORMACIÓN PATIÑO EN LA CIUDAD DE SAN ANTONIO Y ALREDEDORES – PARAGUAY”.

En el año 1991, se publica en la Revista Geológica, AGP, N°1, Páginas: 63 – 76, el trabajo titulado: “AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO DE LOS VALORES CULTURALES DEL CERRO GUAZÚ (Jasuka Venda) Y OTROS DESCUBRIMIENTOS –ASPECTOS GEOLÓGICOS”. En el mismo se denuncia un “Conglomerado”, correlacionable con el “Conglomerado Patiño”, (de Areguá).

En el año 1998, el texto explicativo de la hoja numero 5569; de escala: 1:100.000, de “SAN JOSÉ”, realizado por la Dirección de Recursos Minerales (MOPC) y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), conviene en llamar a la “FORMACIÓN PATIÑO” de la Región de Sapucaí, “FORMACIÓN YBYTYMÍ”.

Actualmente estudios realizados (Villar 2007), han demostrado continuidad litológica del Acuífero Patiño, hacia el Chaco paraguayo, pero aparentemente sin conexión hidráulica. Los estudios de continuidad, más recientes y actualizados, sobre el Acuífero Patiño, han sido realizados por el Consultor Master Hidrogeólogo, Profesor Félix Benjamín Villar, especialista en tecnologías del agua y del ambiente.

Los acuíferos son formaciones geológicas, capacitadas para el almacenamiento y movimiento de las aguas subterráneas, se los puede definir una vez enmarcados dentro de un rango formacional, para lo que debe ser tratado como un cuerpo geológico, debidamente identificado, mapeado según ordena el Código Paraguayo de Nomenclatura Estratigráfica y propuesto en un organismo de rigor científico. Tiene un espacio tridimensional, una génesis geológica y un intervalo en el tiempo geológico.

El Código Estratigráfico Paraguayo, reza en su CAPITULO – B, ARTÍCULO, B – 2; INCISO, B – 2.4: “Las discordancias laterales y pequeños hiatos que interrumpen una secuencia de rocas de litología muy semejante, no sirven para caracterizar dos unidades”. Respetando estas premisas, no tendrían por qué estar tan inflacionadas, las actuales nomenclaturas estratigráficas en nuestro país.

El Código Estratigráfico Paraguayo, reza en su CAPITULO – B, ARTICULO, B – 5; INCISO, B – 5.4: “Las masas de rocas lateralmente discontinuas, que tienen aproximadamente el mismo carácter, posición estratigráfica y edad, pueden ser consideradas, formación”. El espíritu del código es simplificar y no complicar, para poder correlacionar regionalmente.

El Código Estratigráfico Paraguayo, reza en su CAPÍTULO – B, ARTICULO, B – 17; INCISO, B – 17.8: “El término geográfico constante de una designación litoestratigráfica formal, no debe ser cambiado”. Esto significa el respeto de nombres estratigráficos pioneros.

El Código Estratigráfico Paraguayo, reza en su CAPITULO – B, ARTICULO, B – 18; INCISO B – 18.1: “Los nombres consagrados, bien establecidos y de uso tradicional, no deben ser sustituidos por nombres poco conocidos u ocasionalmente usados por motivos de prioridad”.

Con el respeto de la nomenclatura clásica se evitan, inútiles desperdicios de tiempos, dinero y esfuerzo; de manera que volver a la designación original, facilitará la comprensión de la geología, e hidrogeología del Paraguay.

La geología y por ende la hidrogeología del país, no es complicada, los elementos para hacerlas entendibles están disponibles, por lo que re – encauzar los términos estratigráficos, mejorará el contexto hidrogeológico, modernizándolo, aclarándolo, conociendo en donde se inicia y en donde termina, para mejor gestión.

## **2.2 Revisión Cartográfica.**

Se accedió a gran cantidad de materiales cartográficos, de los que fueron cuidadosamente reinterpretados, adecuadamente procesados y re – elaborados, con la medida del avance del trabajo. Aquí también se ha respetado el Código Paraguayo Estratigráfico, que pone una escala límite para las Unidades Estratigráficas.

En primer lugar se ha basado la investigación, teniendo como guía el Mapa Geológico de la República del Paraguay, en escala 1: 1000.000, Palmieri H; Fúlfaro V. y Alvarenga D. Elaborado por el Gobierno de la República del Paraguay; la Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo y el Departamento de Cooperación Técnica de la Organización de las Naciones Unidas.

Para el alcance de esta investigación, la escala 1:1000.000 es adecuada, trabajos posteriores lo mejorarán. Las zonas que siguen siendo problemáticas y las estructuras más importantes, están marcadas sobre el mapa de escala 1:500.000, realizado por la Empresa The Anschutz Corporation, del año 1981. Geologic Map of Eastern Paraguay, Compiled By: F. Wiens. Drawn By: R. Britez; M. L. Iske. y modificado por el autor de ésta investigación.

Se optó como matriz los mapas mencionados, por ser muy útiles, en los trabajos de campo y gabinete. No se pretende lograr el cien por ciento de perfección, pero si alcanzar un margen de certidumbre, de por lo menos setenta por ciento.

El Código Estratigráfico Paraguayo, reza en su CAPITULO – B, ARTICULO, B – 4; INCISO, B – 4.3: “Se considera esencial para la propuesta formacional, la mapeabilidad comprobada de la formación, en superficie o sub – superficie, a escala 1:25.000.

Aquí el requisito de la escala o distribución de los componentes es de principal importancia, de manera que la distribución en escala mayor, pasa a ser un miembro dentro de la formación. Estas bases ordenan territorialmente, los terrenos aptos para explotaciones hidrogeológicas.

Además en el CAPITULO – B, ARTICULO, B – 4; INCISO, B – 4.4, menciona: “Una formación puede representar un intervalo de tiempo largo o corto, puede estar constituida por materiales de una o varias fuentes, y puede incluir quiebres en la secuencia crono – estratigráfica”.

Estas condiciones son las que caracterizan al Acuífero Patiño en todo el Paraguay.

La esencia de ésta investigación estará plasmada en mapas, ya que todo el territorio nacional, es el objeto de la distribución, de los materiales conformantes del Acuífero Patiño, con variaciones laterales, como es de esperar en las formaciones geológicas. Las formaciones geológicas que conforman los acuíferos, deben identificarse en mapas apropiados, es imperiosa la necesidad de conocer la distribución, ya que los procesos geológicos formadores, no se restringen a pequeñas localidades, pero si trasgreden fronteras jurisdiccionales, departamentales y hasta internacionales. Esto entrega un marco extensional de los materiales acuíferos, así, los gerenciamientos hidrogeológicos, estarán dimensionados en base real.

Para administrar un recurso tan importante como un acuífero, es fundamental conocer su ancho, largo y alto. Después las complicaciones son puramente de contexto geológico, como ser: facies, mineralogías, tipos de estratos, petrología, zonas de oxidaciones, franja de aereación, tectónica, hidrotermalismo, geomorfología, contactos formacionales, intrusiones, extrusiones, donde se carga, como se transmite el agua, si son aguas congénitas, exógenas, la química y donde se descargan .

Para indicar las zonas muestreadas y de tomas fotográficas, se consultaron mapas de mayores escalas, para las explicaciones que estarán desarrolladas más adelante en la investigación. Son de mucha utilidad para esto los levantamientos y hojas geológicas desarrolladas por la Subsecretaria de Minas y Energía del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, los levantamientos geológicos realizados por las diferentes cátedras del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencia Exactas

y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción. También investigaciones de ortofotocartas, planos, mapas y cartografía hidrogeológica, realizado por el Profesor Félix Benjamín Villar.

Otros materiales cartográficos e imágenes de satélite, en varias escalas también han sido de utilidad, imágenes de satélites mejoradas y procesadas, por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón, también otras procesadas y mejoradas en el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR), de la República de Alemania. Materiales cartográficos en escala 1:50.000, 1:100.000 y 1:1.000.000 y fotografías aéreas de escala 1:60.000, elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar, Dependiente del COMANDO LOGISTICO Y COMANDO EN JEFE DE LAS FUERZAS ARMADAS DE LA NACION (DISERGEMIL), fueron las bases para el asentamiento de datos y planificaciones para el reconocimiento hidrogeológico.

### **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

Los trabajos de investigación realizados aquí, están respaldados en los procedimientos científicos. Observaciones y análisis, fueron las bases para los resultados y conclusiones. También muchos datos ya fueron adquiridos de hace muchos años atrás y ordenados, procesados, mediante las instrucciones recibidas durante la cátedra de “METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN”, que fuera dictada del 8 de mayo al 15 de junio del año 2007, por los profesores Ing. Ricardo Garay Arguello PhD y la Ing. E. H. María José Aparicio MSc., de la Dirección General de Postgrado, de la Universidad Nacional de Asunción – UNA. Aquí se proporcionaron las bases, metodologías y técnicas, para el diseño y ejecución de la investigación con rigor científico. Gracias a esta disciplina, se planificó en forma participativa de profesionales de todas las ramas. También se recurrió al análisis de tesis de grado y postgrado, artículos científicos de la Universidad de Asunción y otros centros de investigación.

Resultado del entrenamiento, fue la elaboración y presentación, de un “ANTEPROYECTO”, avalado por el orientador de tesis Profesor Félix Benjamín Villar. Como co – orientador: Profesor Doctor César Arce, especialista en ciencias químicas.

El “ANTEPROYECTO”, estableció un cronograma para el desarrollo de la investigación, atendiendo estrictamente a un marco financiero, que se ha cumplido en su totalidad.

### **3.1 Metodología de Gabinete.**

La metodología de gabinete consistió, de acuerdo a la disponibilidad financiera y como el área de trabajo era tan vasta, en delimitar zonas llaves del Paraguay, que ayudarían en tan poco tiempo a dilucidar un problema geológico de tan vasta extensión, cual es la República del Paraguay. Para lo que se adquirieron materiales fotográficos, cartográficos, satelitarios, bibliográficos e informáticos, en atención a la disponibilidad financiera.

En todas las investigaciones, los datos eran procesados en gabinete, en base a debates y consultas con otros profesionales. También en el desarrollo de la investigación, no cesaba la recopilación de materiales bibliográficos y cartográficos, en apoyo al laboratorio y campo.

Se incluye también en este ámbito viajes realizados al exterior, para misiones de consultas a nivel internacional, aprovechando viajes de trabajo.

Abundantes investigaciones sobre el Acuífero Patiño han sido consultadas, atinentes a los objetivos de la investigación. Con visitas a colegas especialistas e instituciones que gustosos colaboraron, en informaciones, orientaciones y vivencias al respecto. También fueron oportunos los apuntes de la maestría, conferencias y consultas en otros países. Como el torrente de informaciones era tan abundante, se han seleccionado los materiales más tocantes al esbozo que iba surgiendo. En todos se respetaron las obras geológicas pioneras, que sirvieron de cimiento para entender la geología del Paraguay, siguiendo estrictamente el “CODIGO PARAGUAYO DE NOMENCLATURA ESTRATIGRAFICA”, a fin de no caer inútilmente en actos de inflación de la nomenclatura. Los trabajos de gabinete acompañaron al inicio de la investigación, hasta el final. Verificando continuamente el desarrollo de los programas establecidos en el Anteproyecto. Se elaboraron muchos informes preliminares que no están plasmados aquí, por haber sufrido modificaciones, pero los mismos están a la disposición.

Las investigaciones asentadas en la bibliografía, fueron de carácter imprescindibles como fuertes guías, que sostuvieron las diferentes partes del presente trabajo, hasta lograr descifrar nuestro problema hidrogeológico, resultado de confusiones geológicas.

También se utilizaron en gabinete, mapas gravimétricos, magnetométricos, geológicos, estructurales, hidrogeológicos y tectónicos, para entender los receptáculos del Acuífero Patiño.

Tal cúmulo cartográfico y bibliográfico, ha dado la visión panorámica del contexto hidrogeológico, para los reconocimientos geológicos regionales y locales.

Las imágenes de satélites y fotografías, han provisto el descubrimiento de estructuras, en base a tonos y texturas, que ayudaron a la interpretación tectónica, en bosquejos elaborados en el gabinete y que obligaron verificaciones con el transcurso de la investigación. Las selecciones de datos fueron las claves del éxito en esta investigación a pesar de la poca disponibilidad financiera que se tenía. Se ha invertido un buen tiempo en la re – interpretación de mapas e imágenes de satélites, debido a que más del cincuenta por ciento de las estructuras tectónicas, son enmascaradas por sedimentos recientes.

Los resultados de muestras, suelo, rocas, etc, fueron procesados, interpretados y redactados, según las NORMAS establecidas por la Dirección General de Postgraduación Académica – Escuela de Estudios de Postgraduación Académica, de la Universidad Nacional de Asunción (EEPGA – UNA) – Reglamento del Trabajo de Tesis de Cursos de Maestría y Doctorado.

Los trabajos del gabinete seleccionaron, en base a prioridades: “AREAS PROBLEMAS”, con estas categorizaciones, se plantearon escalas de trabajos y campañas de mayor urgencia. Así se obtuvieron informaciones, primeramente regionales, para luego atacar áreas restringidas.

Los productos fueron esbozos geológicos, atendiendo especialmente relaciones estratigráficas, estructuras, litologías, mineralogías y relaciones. Los datos que eran generados, eran tratados en gabinete, discutidos y consultados, ajustados nuevos modelos, para los siguientes controles, el proceso fue altamente dinámico.

Finalmente con los datos obtenidos y según lo fijado en el anteproyecto, parte calendarizada y financiada, se elaboraron mapas finales, consultas con los orientadores fueron las reglas del avance investigativo. Discusiones y debates con diferentes especialistas, hasta que en el gabinete, se confeccionaron los reportes finales de la investigación. Lastimosamente el presupuesto no ha sido suficiente, para una mejor impresión de las memorias, gráficos y fotografías.

También en consultas con la Coordinación de la Maestría, la Dirección General Académica y la Dirección General de Postgraduación Académica, de la Universidad Nacional de Asunción, UNA, se creyó conveniente el diseño final de los ejemplares, de esta tesis, la compaginación en dos tomos. El primer tomo, es el cuerpo de la investigación, mientras que en el segundo tomo, se asientan los anexos.

El gabinete aparentemente no presenta importancia para una investigación, pero ha quedado patente, que la actividad en gabinete se establece ya desde el anteproyecto, en el inicio del proyecto, durante el proyecto y final del mismo; de manera que un buen equipo de gabinete, es la base para el buen inicio y buen final de un proyecto.

### **3.2 Metodología de Campo.**

El propósito del trabajo de campo, no fue cubrir todo el territorio de la república, pero si encontrar la continuidad del Acuífero Patiño, en sus afloramientos.

Con la interpretación de gabinete, mediante imágenes de satélites y numerosos mapas compilados, se visitaron grandes regiones, en carácter de reconocimientos geológicos generales. Más tarde fueron elaborados mapas de identificaciones locales o visitas en detalle, buscando el ambiente geológico del Acuífero Patiño.

Con los conocimientos adquiridos y la disponibilidad económica, se diseñó el tipo de muestreo factible según lo calendarizado, aprovechando estudios anteriores.

En el campo se accedió a varios tipos de muestras, suelos, rocas, minerales y aguas; pero fueron analizadas algunas, según optimización de los medios económicos.

De trescientas muestras obtenidas, solo una sexta parte han podido ser analizadas, por sus altos costos. Ellas fueron obtenidas, según accesibilidad de las mismas, teniendo rutas de accesos en muy mal estado, eligiendo ejes viales cercanos a las área escogidas. El tipo de extracción dependió del material, su yacencia, estado de

agregación, intemperismo, posición de importancia, representatividad y otros. Por lo general se muestrearon frentes de estratos, en posiciones más provechosas y posterior selección, en laboratorio. En campaña se realizaron descripciones megascópicas, se utilizaron códigos de campaña, empaque correspondiente y remisión a los diferentes laboratorios, según prioridad cronográfica. Se recorrieron unos diez mil kilómetros en total, muchos viajes fueron aprovechados para la tesis, pero eran realizados por empresas para otros objetivos, de manera a optimizar al máximo el presupuesto disponible.

Los datos obtenidos en el terreno, eran volcados en planos que ayudaron al ensamble posterior de toda la formación.

Dentro del marco financiero, cronográfico y de los objetivos perseguidos, fueron adquiridas informaciones de primera mano y de segunda, vale decir que en esos lineamientos, se alimentaba un archivo de apoyo a las campañas, sean éstas del proyecto o no.

El uso de la libreta de campo, fue la primera base de datos, que después era procesada en el gabinete. Los datos in situ, ayudaron a identificar cambios litológicos, pero del mismo tiempo geológico, estructuras que aparentemente cortaban continuidades litológicas, estratos guías, relaciones genéticas, contactos geológicos, secuencias estratigráficas y emplazamientos magmáticos.

Dentro de las limitaciones financieras y de tiempo, se ha podido cubrir, aunque en forma no tan sistemática, todo el territorio del Paraguay, sin poder ser dueño de las acciones en muchas oportunidades, por tratarse de otros proyectos, con otras prioridades, pero de alguna manera aprovechado para esta investigación.

Quedaron zonas que merecen una exhaustiva investigación, pero por la falta de rutas y caminos, no han podido ser debidamente inspeccionadas y muestreadas, pero de todos modos fueron marcadas en mapas apropiados, para que con investigaciones futuras sean debidamente inspeccionadas, muestreadas y analizadas.

Los trabajos de campo dentro de los proyectos, pueden ser considerados, los más costosos, debido a que en la hidrogeología, el objeto de cualquier proyecto, se centra en las Formaciones Geológicas Acuíferas, que sean capaces de almacenar y entregar, aguas subterráneas, para su aprovechamiento.

### 3.3 Metodología de Laboratorio.

Las muestras obtenidas en el campo, eran seleccionadas, en base a su representatividad, disponibilidad financiera, e importancia, para su posterior análisis. Las muestras escogidas ingresaban por solicitud de análisis. En la recepción del laboratorio, los códigos de campo eran cambiados por códigos de laboratorio para su procesamiento y análisis. (Ver anexos).

Las muestras eran derivadas a secaderos, para posterior reducción por percusión y luego modeladas en la cortadora. Obtenido así un cuerpo manejable, con el plato de pulimento, a base de abrasivos de distintas granulometrías. Una vez conseguida la tersura, la probeta era tratada con bálsamo de Canadá en un porta – objeto, mediante aumento de la temperatura, hasta el fraguado del aditivo, una vez incorporada la probeta, ésta era de nuevo cortada, para luego ser rebajada, a 0,02 milímetros de espesor, con la tersura apropiada. De nuevo la parte pulida expuesta, era tratada con bálsamo de Canadá, aplicándole un cubre – objeto y su posterior fraguado, con aumento de temperatura, hasta alcanzar, un índice de refracción,  $n = 1,54$ .

Se somete a la probeta a un control de calidad, con el correspondiente chequeo de espesores, mediante colores de interferencias, burbujas atrapadas, fracturamiento durante el proceso, craquelado del aditivo o la pérdida de algún componente mineralógico por el barrido del plato pulidor.

La probeta que ha pasado la prueba de calidad, era entregada bajo recibo al investigador. Luego en un laboratorio petrográfico, era analizada por petrógrafos especialistas, mediante ortoscópios y conoscópios polarizantes, en luz polarizada transmitida paralela y cruzada respectivamente.

Otro lote de muestras siguieron otras líneas de tratamientos, fueron derivadas a los secaderos para luego ser sometidas a exámenes microscópicos, con potentes estereoscópios binoculares, donde se realizan análisis microscópicos mediante luz común blanca de reflexión y reactivos químicos diversos. También muestras después del secadero, fueron sometidas mediante molinos a discos de alta revolución, a fracciones micrónicas por molinado y tamizado. Llevadas a soluciones, monitoreadas por una semana, con el fin de estudiar los grados de solubilidades, estudios de

conductividades versus “PH”, gracias al apoyo de los estudiosos profesionales químicos.

Ensayos y análisis que no podían ser finiquitados por un laboratorio, se completaban con otros, que disponían del equipamiento y de profesionales debidamente capacitados para el efecto.

Los conductímetros utilizados, son de los laboratorios de la Universidad Nacional de Asunción – UNA, así como también los detectores de “PH”.

Otros ensayos y análisis especializados, fueron realizados por consultores hidrogeólogos del sector privado.

Los ensayos básicos fueron realizados en los laboratorios, sedimentológicos, químicos, mineralógicos y petrográficos, del Departamento de Geología y Laboratorio, dependiente de la Dirección de Recursos Minerales, de la Sub – Secretaría de Minas y Energía del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.

Se realizó un ensayo de permeabilidad, en el suelo residual del Acuífero Patiño, en los Laboratorios de la Universidad Católica – Facultad de Ciencias y Tecnología – Laboratorio de Ingeniería Civil. – UCA.

## **CAPITULO 4**

### **MATERIALES UTILIZADOS**

Los materiales utilizados durante la investigación, componen los equipos requeridos durante el desarrollo de la tesis, en las áreas de gabinete, campo y laboratorio. El listado, transcribe solamente los principales:

- Imágenes Satelitales.
- Fotografías aéreas, del tipo pancromático.
- Cartas Topográficas en escalas 1:50.000; 1:100.000 y 1:250.000.
- Ordenadores Informáticos y accesorios.
- Mapas de diferentes escalas.
- Bibliografías especializadas.
- Mapotecas.
- Cámara fotográfica.
- Mesa de luz.
- Escalímetros y reglas.
- Reglamento del Trabajo de Tesis de Cursos de Maestría y Doctorado.
- Código Paraguayo de Nomenclatura Estratigráfica.
- Estereoscópio de espejos para gabinete.
- Estereoscópio de espejos para campo.
- Estabilizador de voltaje.
- Porta Mapa.
- Plancha Calefactora. Netz. Tipo H64.
- Campana extractora.
- Estufa de Memmert ULM 500
- Balanza analítica.

- 
- Plancha Netz H22.
  - Pulidora MPS. E200
  - Microscopio Wild M3Z.
  - Cortadora ECW 1403.
  - Compresor para laboratorio.
  - Bomba de Vacío NO – 10KN18.
  - Molino SK1.
  - Molino a Disco, RS – 1.
  - Tamizador HAVER – EML.
  - Triturador BB1.
  - Secador de aire.
  - Motor trifásico para compresor de aire.
  - Calculadora.
  - Lupa Wild – M3C.
  - Lupa Wild – M8, con fuente de luz.
  - Microscopio Wild LEIZ 890.
  - Microscopio Zeiss.
  - Mechero y Quemador.
  - Conductímetro.
  - Equipo de PH.
  - Calentador de Plancha Cerámica.
  - Plancha calentadora de arena.
  - Vibrador.
  - Limpiador Ultrasónico.
  - Centrifuga.
  - Destilador.
  - Mecheros de Bunsen.
  - Bomba peristáltica.
  - Microscopio para control de calidad.
  - Gradilla Móvil.
  - Gradilla de Pared.

- 
- Soplete.
  - Mochilas para muestras.
  - Linternas Halógenas.
  - Libreta de campo.
  - Lupa Geológica.
  - GPS Y Brújula.
  - Piqueta geológica.
  - Extractor de muestras.
  - Mazo geológico.
  - Cuchillo de campaña.
  - Molinete.
  - Tanques alternativos.
  - Bolsas de dormir.
  - Carpas de Campañas.
  - Laminador de Muestras.
  - Tallador Portátil.
  - Secadoras ULM 400 M.
  - Reactivos químicos.
  - Clinómetro.
  - Mosquiteros.
  - Equipo de escala de MOHS.
  - Vehículos de todo terreno.
  - Recipientes para muestras.
  - Cartas Granulométricas.
  - Péndulo magnético.
  - Carta de colores.
  - Equipo de zapa .
  - Combustibles y lubricantes.
  - Equipos de primeros auxilios.
  - Artículos de librería.
  - Catalejos.

- 
- Correctores.
  - Pliegos cartográficos.
  - Equipos micro – petrográficos.
  - Tablas petrográficas.
  - Tablas de colores de interferencias.
  - Cámara para microscopía polarizante.
  - Equipo de tamices.
  - Soplete de campaña.
  - Planchetas
  - Fuente de luz para campaña.
  - Porta – fotografía.

---

## **CAPITULO 5**

### **ACUÍFEROS DEL PARAGUAY.**

Se debe exponer sobre las Formaciones Geológicas del Paraguay, para entender las denominaciones acuíferas que son muy utilizadas en el ámbito hidrogeológico.

En el contexto geológico, de los acuíferos del Paraguay se han encontrado, extraordinarios elementos, que ayudan, en un panorama continental, ciertas rocas también presentes en cuencas vecinas, aclarando génesis de las cuencas, los tiempos y componentes.

Para profundizar conocimientos sobre el Acuífero Patiño, se deben revisar los demás acuíferos, tanto pre o post . Patiño, con la ayuda de captaciones de aguas, datos hidrogeológicos, parámetros físico – químicos, geológicos, petrológicos y geotectónicos. También los componentes ambientales deben tenerse en cuenta, sea participativo para que el simple ciudadano maneje nociones y significancias de las Formaciones Geológicas Acuíferas. Los acuíferos así podrán monitorearse, según sus naturalezas, haciendo hincapié en las regiones más vulnerables; los residuos sólidos y líquidos generados, con adecuados controles hospitalarios, mataderos, zonas de recargas, agroganaderías, industrias y repositorios, pueden contribuir a la mitigación del impacto medio – ambiental. El agua subterránea no es un tema de carácter aislado, sino transversal a todas las políticas; llámense: educativas, de salud pública, económicas, de obras públicas, desarrollistas y otras. Consecuencia es bien llamada “Presión Antrópica”, ejercida sobre los acuíferos del país, produciendo variables que antes no acontecían, obedeciendo a un creciente aumento poblacional que se traduce en migraciones masivas de las superficies potenciométricas. El efecto residual consecuente, es ocupar los espacios dejados por fluidos no deseados y de controles

onerosos. Generalmente estos riesgos se producen en los límites, de manera que deben ser convenientemente marcados en los mapas.

Los materiales conformantes, en muchos casos se hallan en contacto con materiales de mala calidad, recostándose sobre los mismos, por actividad puramente tectónica, bloques basculados, compartimientos y conductos activos de agua. (Ver F40; 53; 56; 57; 58; 62; 63; 64; 66; 67; 68; 69 y 75).

El progresivo proceso de explotación presiona niveles piezométricos potables, lo que en muchas zonas, se ha revertido una extracción de buenas aguas en fluidos no deseables.

Teniendo en cuenta que las reservas mundiales de aguas potables, son nada más que el cinco por ciento de la totalidad existente, es obligatoria la aplicación de estrategias, para mejorar los gerenciamientos de usos de los acuíferos.

A partir del año dos mil, el consumo de agua en el mundo, se hizo de cinco mil kilómetros cúbicos por año, porque el ser humano está compuesto por ella, precipitando demandas alarmantes, desafío que va finalmente a enfrentar la humanidad, en el presente milenio. Esta situación genera una verdadera crisis del recurso, agudizándose aún más, por insuficientes políticas sobre el tema. Las consecuencias se hacen sentir ya, en los sectores menos favorecidos, de manera que se pueden construir proyecciones, en las partes más precarias de nuestros acuíferos. Felizmente la tasa de precipitaciones, en nuestro país es alta, amortiguando los efectos inmediatos. En el Paraguay las áreas más amenazadas para nuestros acuíferos, son las subsidentes, malogrando la calidad de las aguas, como ocurre en la Argentina, Uruguay y otros. Estas áreas presentan niveles de buenas calidades o natas potables, son prácticamente niveles flotantes de alta vulnerabilidad. Una sobreexplotación se constituye en disparador, que desencadenan ascensos peligrosos de mapas indeseables.

Predominan estos episodios en terrenos débiles desde el punto de vista tectónico.

Se debe tener en cuenta la premisa, que a largo plazo, todos los acuíferos serán expuestos a contaminaciones, si las acciones en las gestiones de explotación, no son a tiempo tomadas, el cambio en propiedades organolépticas, es indicio serio del daño al acuífero.

El Acuífero Patiño es un recurso hidrogeológico, que ofrece a los habitantes de la república, una provisión de agua potable permanente, toda vez de correcto manejo. Sus aguas son de fácil accesibilidad, por el noble emplazamiento geológico de los componentes, altamente favorecido por la posición geográfica. Donde se mueven las aguas subterráneas, es un sistema finito que debe ser delimitado, con el fin de conocer a ciencia cierta, la cantidad del recurso que se dispone, solamente de tal manera, se podría administrar de forma auto – sostenible, para uso humano. Una vez conocido el recurso, se puede influenciar para cambios de conductas poblacionales, conscientes en lograr equilibrio dinámico, entre la calidad de vida, calidad del ambiente, porque los acuíferos ya forman parte de los ambientes ecológicos sanos. No basta hablar de ecología, micro – organismos, del aire, si no dimensionamos lo que significan los tipos de aguas y sus alojamientos en los acuíferos. Afortunadamente el Paraguay es generoso en brindarnos agua potable, pero debemos conocer y ser participantes, para que la generosidad, permanezca en el tiempo y espacio, es decir que las acciones del presente no comprometan a las generaciones futuras; transformando el actual modelo social, más justo, equitativo, conciente, responsable, participe y sostenible.

Se avecinan cambios climáticos, los que exigirán gerenciamientos más efectivos, más preparación, más responsabilidad, dado que las temperaturas medias mundiales, aumentaran en el próximo siglo, obligando la nueva planificación, adaptación y observancias a los nuevos paradigmas. La desertificación nos trae temperaturas extremas, vale decir, de día calores límites y de noche temperaturas muy bajas. Los cambios extremos también se verán manifiestos con las estaciones del año, es decir variaciones límites climáticas.

Las autoridades paraguayas, a partir del proceso democrático, ante una creciente demografía y las nuevas exigencias preservacionistas, tomaron conciencia de la nueva problemática del milenio, por lo que se incorpora una Secretaría del Medio Ambiente, Gobiernos Departamentales con sus propias secciones ambientales y unidades que identifican y coadyuvan impulsando políticas para los nuevo desafíos.

El Acuífero Patiño debe monitorearse, por su naturaleza, componentes y vulnerabilidad, para lo que se realizó un seguimiento del mismo, su distribución,

debido a que los procesos geológicos formadores de estos no son locales, no son restringidos a pequeñas localidades, no se producen exclusivamente en un punto de la corteza terrestre, sino que son extendidos, regionales, de vastas superficies, abarcando naciones y continentes, de manera que trasgreden fronteras jurisdiccionales, departamentales e internacionales. Debemos entender que la geología no es exclusivamente de un solo país, sino que se la comparte por grandes territorios continentales, así los gerenciamientos hidrogeológicos futuros, estarán dimensionados en base real, es decir si en el Paraguay contaminamos un acuífero, tarde o temprano, contaminaremos a nuestro vecino; por eso investigaciones futuras tendrán la responsabilidad, de categorizar zonas de mataderos, hospitales, repositorios radiactivos, vertederos, agroganaderías, petroquímicas, factorías, industrias, laboratorios, debidamente tratados, demarcados, controlados, según se encuentren en áreas de trasmisión, recarga o descarga.

Las aguas subterráneas de los acuíferos deben ser reguladas mediante leyes, decretos, resoluciones, ordenanzas y reglamentos, debido a que involucra varios aspectos, es transversal a todas las actividades, políticas, proyectos y porque no decir cultura.

Sus observancias nos llevarán al funcionamiento de una administración saludable, para enfrentar desafíos de carácter globalizados.

La deforestación a acabado la vegetación natural que protegía la franja de aereación del Acuífero Patiño, lo que ha afectado la tabla de saturación. La Organización Mundial de la Salud, ha calculado que el ochenta por ciento de las enfermedades, que afectan a la población mundial, están directamente, relacionadas con el agua, ya que es capaz de disolver aún radio – elementos, como ocurre actualmente en Europa. Esto fortalece la premisa: Se debe conocer a ciencia cierta, la distribución de los acuíferos, para administrarlos en forma saludable. Si bien las aguas subterráneas se encuentran mejor protegidas, frente a las superficiales, es más contraproducente, el hecho que una vez incorporado, el contaminante dentro del sistema, resulta más oneroso y complicado, detectar; tipo de contaminante, desplazamiento, evolución química e intercepción, antes de llegar a las fuentes naturales o artificiales. Regenerar un acuífero es un proceso difícil, complicado, costoso y hasta puede tornarse el daño irreversible.

Tratemos de imaginar la tierra sin ecosistemas, es decir sin los motores productivos del planeta: comunidades de especies que inter – actúan entre sí y con el ambiente físico en que viven. Los ecosistemas están a nuestro alrededor: bosques, pradera, ríos, aguas costeras y profundidades, islas, montañas, incluso ciudades. Cada uno entraña la solución a un desafío particular de la vida, solución esta que se ha configurado a lo largo de los milenios; cada uno codifica enseñanzas de supervivencias y eficiencias, a medida que incontables especies compiten por la luz solar, agua, nutrientes y espacios. Si se le privara de sus ecosistemas, la tierra se parecería a las imágenes desoladas y sin vida, que proyectaron desde Marte, las cámaras de la NASA en 1997 (VILLAR. 2007).

El hecho es que dependemos completamente de los ecosistemas para nuestro sostenimiento. Desde el agua que bebemos hasta los alimentos que consumimos, desde el mar que nos ofrece su riqueza de productos, hasta el suelo sobre el que construimos nuestras viviendas, los ecosistemas producen bienes y servicios, sin los cuales no podemos vivir. Los ecosistemas hacen que la tierra sea habitable, purificando el aire y el agua, manteniendo la biodiversidad, descomponiendo y dando lugar al círculo de nutrientes y proporcionándonos todo un abanico de funciones críticas (VILLAR. 2007) . Sin nos parece imposible imaginar nuestra vida en la tierra, sin ecosistemas, entonces será necesario aprender a vivir mejor en ellos. El mundo es muy grande, la naturaleza resistente, y los humanos hemos venido alterando el paisaje por decenas, de miles de años, por lo cual hace fácil que ignoremos las señales que advierten, que posiblemente la actividad humana está deteriorando la capacidad de un ecosistema, para producir bienes y servicios. No hay que mirar muy lejos para ver cuan elevados pueden ser los costos que dejan la degradación de los ecosistemas (VILLAR. 2007).

Actualmente el Acuífero Patiño, se lo considera parte del Departamento Central y Paraguairí, posición Central del Continente Sud – Americano, como un pequeño triángulo rectángulo en el seno del Paraguay; la pregunta una vez más se hace patente, será que los eventos tectónicos que los formaron, solamente actuaron, exclusivamente , en dos pequeñas partes, de los Departamentos Central y Paraguairí?; como habíamos visto más atrás, esto para los fenómenos geológicos no es posible.

Los componentes del Reservorio del Patiño, ocupan principalmente fosas tectónicas, conociéndose hasta la fecha, como un Acuífero puramente tectónico, más que de Cuencas Geológicas Clásicas. Este hecho es la clave y lo diferencia claramente de los demás acuíferos del Paraguay, de manera que su seguimiento en esta investigación se fundamenta, en ese concepto.

El Gran Chaco es una extensa llanura que ocupa la mayor parte de la Cubeta Sedimentaria, que a rasgos generales, abarca desde el Cratón del Brasil y al Este, las Sierras Sub – andinas y Pampeanas al Oeste.

Las llanuras Pampeanas al Sur y la Amazonía al Norte. En ella predominan los sedimentos de origen pluvial y eólico. Tiene una pendiente general suave oeste – este, alteradas por algunas fracturas norte – sur, que determinan un bloque más elevado en la región central (Conocido en la Argentina como: “DOMO CENTRAL O DOMO ALGODONERO”). En general, las texturas aumentan de este a oeste, debido a los sedimentos apartados por los ríos que provienen de las regiones montañosas, que limitan al Chaco en el oeste. La fosa tectónica chaqueña fue paulatinamente rellenada con sedimentos del cuaternario, de tipo Loessico, Pluviales y Lacustres. El espesor de la cobertura sedimentaria presenta variaciones, que reflejan la existencia en el subsuelo de grandes depresiones y hondonadas, separadas entre sí, por altos o dorsales, que favorecen la presencia de humedales y suelos de gran aptitud agrícola (VILLAR. 2007).

El Chaco se ubica, en una región que va desde un clima semi – árido a semi – húmedo, resultante de un gradiente de precipitaciones, que va desde unos 450 milímetros anuales en el sur – oeste, a 1200 milímetros anuales en el este. El régimen de lluvias es fuertemente estacional, con más del ochenta por ciento de las precipitaciones, concentradas en el verano (Octubre a Abril). Esto implica la existencia de un estación seca bien definida, que tiene una duración de dos meses en el este y hasta siete en el oeste. Como es típico en este tipo de clima, los elementos del clima chaqueño presentan una amplia variabilidad, lo cual ante la ausencia de barreras topográficas, se manifiesta en variaciones suaves. Predominan dos gradientes básicos: uno norte – sur para la temperatura y otro este – oeste, para la lluvia (VILLAR. 2007).

Los ríos del Chaco son hidrogeológicamente complicados. Presentan una tendencia notable a desviar lateralmente sus cauces, creando meandros, así como atascarse en sus propios sedimentos, separándose en varios brazos. Como resultados de estos cambios, se aprecia el ensanchamientos de los ríos en varios brazos o zanjones, entre los que se ubican numerosos vestigios de lagunas y extensas áreas de bañados (VILLAR. 2007).

Gran parte del legado humano, del conocimiento de la biodiversidad, de su importancia y sus funciones, se ha obtenido y seguirá adquiriéndose en las distintas culturas a través de las prácticas agrícolas, así como de la recolección de poblaciones naturales. Este recurso debería aprovecharse más activamente, por ejemplo en los programas escolares, a fin de fortalecer el conocimiento de todos los ciudadanos, sobre la ecología (VILLAR. 2007).

La energía que mantiene el sistema en funcionamiento proviene del sol: la energía solar es absorbida y convertida en alimento por plantas y otros organismos que realizan la fotosíntesis y que se encuentran en la base misma de la cadena alimentaria. El agua es el elemento crucial que fluye a través del sistema. La cantidad de agua disponible, junto con los niveles extremos de temperatura y la luz solar, que un determinado sitio recibe, determina fundamentalmente el tipo de planta, insectos y animales que habitan en ese lugar y la manera en que se organiza el ecosistema (VILLAR. 2007).

Cerca del noventa y cinco por ciento, de los desechos producidos en las grandes ciudades, son arrojados al aire libre, así las contaminaciones por vertederos afectan al agua, al aire y suelo. Es importante mencionar los altos riesgos ambientales de vertederos incontrolados, conceptualizarlos en una correcta gestión de los problemas generados, con trabajos transdisciplinarios de profesionales en ciencias específicas (VILLAR. 2007).

Es preciso contribuir al buen conocimiento areal del Acuífero Patiño, a fin de orientar su preservación, ya que es de vital importancia este hecho y el deterioro es de gran actualidad (VILLAR. 2007).

La geología del área del Acuífero Patiño, indica la existencia de sedimentos en estratificación poco desarrollada, con intrusiones ígneas que influyen efectivamente

sobre su litología y permeabilidad, de manera que su estudio debe ser ampliado (VILLAR. 2007).

La geomorfología del Acuífero Patiño, es un área expuesta a fuertes erosiones, debido a fuertes contrastes de cotas; se observan dorsales prominentes, que son consideradas, áreas de recarga (VILLAR. 2007).

Es importante destacar que las investigaciones más recientes producidas sobre los acuíferos en el Paraguay, fueron realizadas por el orientador de esta tesis, abundante información y orientaciones fueron las recibidas y también están plasmadas en el presente reporte.

El acuífero Patiño se encuentra contaminado por coliformes, en las zonas más densamente pobladas, por la baja cobertura de alcantarillados sanitarios y las contaminaciones por nitratos y derivados, se expandió a toda el área del recurso, sin llegar todavía a niveles peligrosos (VILLAR. 2007).

La gestión de áreas críticas, es importante para la protección de la calidad de las aguas del Acuífero Patiño (VILLAR. 2007).

De esta manera el conocimiento del mismo y sus posibles réplicas, ayudaran para un debido ordenamiento territorial futuro (VILLAR. 2007).

Lo dispuesto por las autoridades competentes, en estos temas hacen oportuna la presente investigación, más todavía con el apoyo y supervisión de la autoridad del Profesor Hidrogeólogo Félix Villar Master en agua y ambiente.

El Acuífero de Benjamín Aceval se trata de el tipo restringido, con contorno de agua salada; es el soporte de agua dulce más importante del área, con una población superior a los trece mil habitantes, recibe una pluviometría de mil doscientos milímetros por año y está en el sur del Departamento de Presidente Hayes – Chaco paraguayo, limitado por las cuencas del río Confuso y Aguaray Guazú (VILLAR. 2007).

El problema del Acuífero de Benjamín Aceval, es la recarga restringida, explotación incontrolada, escasos conocimientos del recurso y desplanificación sanitaria (VILLAR. 2007).

En el marco de las acciones glovalizadoras, se resalta a los reservorios de aguas subterráneas, como elementos de alta estrategia, dado un lento retorno, a lo que

anteriormente se denominó como guerra fría. La fragilidad de la paz mundial ya es un hecho, de manera que el riesgo de los contaminantes isotópicos, cada vez es más patente. Los ensayos nucleares, experimentos nucleares, reactores atómicos, combustibles nucleares y uso intensivo de estos elementos en las nuevas tecnologías y Dios no lo quiera en caso de atentados nucleares a gran escala, llevaría a una masiva contaminación, de las reservas de aguas potables superficiales, no así las subterráneas.

Desde el punto de vista geológico el Acuífero de Benjamín Aceval, se haya emplazado dentro de un modelo regional, denominado “CHACO DEPRIMIDO”, pero localmente expone suaves ondulaciones, relacionadas en este caso a remanentes o islas sedimentarias de la Formación Patiño del Cretácico, asociados en algunos sectores a intrusivas básicas del terciario, como se puede visualizar en el Cerro Confuso (VILLAR. 2007). Finalmente son limitados lateralmente por sedimentos de la “FORMACIÓN CHACO”, de edad terciaria a cuaternaria, compuestos por una arcilla plástica, de color amarillo con algunas concreciones de carbonato o yeso (VILLAR. 2007). Algunos pozos construidos, con diseño final totalmente encamisado, con filtros, tubos ciegos y empaque de grava, han atravesado una longitud de noventa metros de profundidad, donde los perfiles litológicos, muestran una alternancia de areniscas, con granulometría mediana, rosada o blanquecina, hasta los treinta metros, seguidos de una arcilla rosada hasta los treinta y cuatro metros. Posteriormente una arenisca gravosa rojiza hasta los sesenta metros, donde seguidamente aparece una alternancia de capas arcillosas rojizas, hasta los sesenta metros. Finalmente en la posición basal, aparece una arenisca fina a mediana, blanca a rosada, hasta los noventa y cinco metros, donde se observa un piso hidrogeológico arcilloso, muy plástico y rojizo (VILLAR. 2007). Los niveles de agua, están entre los cinco y quince metros, con caudales de diez a veinte metros cúbicos por hora (VILLAR 2007). En cuanto a la calidad del agua, según experiencias de SENASA, en la Ciudad de Benjamín Aceval y áreas circunvecinas, se verifica claramente, en base a análisis fisicoquímicos y bacteriológicos que el acuífero posee agua del tipo sulfatada a clorurada sódica, con valores de nitratos y nitritos, fuera de los parámetros normales, presentándose en algunos casos contaminación puntual, con índices

no admisibles de coliformes fecales y totales (VILLAR. 2007). Sin olvidar además, la presencia de agua salada a partir de cierta profundidad y bordes laterales del acuífero, los cuales conforman las limitaciones principales del agua, con respecto a su potabilidad y uso (VILLAR. 2007).

El agua es un elemento indispensable para actividades desarrolladas por el hombre, tomando parte integral de las labores diarias, como consumo, preparación de alimentos, lavado de ropas y los utensilios de la casa, higiene personal (VILLAR. 2007). Por lo tanto los sistemas de agua potable, permiten que las poblaciones se desarrollen urbanísticamente y demográficamente, los barrios crecen, se pueblan, se puede ver mejoramientos en las viviendas. Con el agua potable, la gente se ve más limpia, los niños más sanos, el ambiente escolar mejora y el pueblo se desarrolla aceleradamente (VILLAR. 2007). La falta de agua o el consumo de agua de mala calidad, perjudica a la salud y acarrea incomodidades, originando pérdidas económicas por falta de salud y pérdida de tiempo (VILLAR. 2007). El agua no tratada o contaminada, contiene microbios que son unas de las causas principales de enfermedades diarreicas, importante factor de mortalidad infantil y otras enfermedades de origen hídrico, como enteritis, disenterías, gastroenteritis, hepatitis, poliometitis, cólera, giardiasis, ascariasis, oxiuriasis y otros relacionadas a la falta de higiene, como la sarna, dando como resultado el raquitismo, escaso desarrollo físico, perturbaciones síquicas y emocionales (VILLAR. 2007). La cobertura de agua potable, en nuestro país está distribuida de la siguiente manera: total: 38,1%; Urbana: 62,7% y Rural: 10% (VILLAR. 2007). Por otro lado es importante señalar que cerca del 85% del agua recibida como agua potable, regresa al ambiente en condiciones diferentes a sus ingresos, contaminadas, puesto que el índice de cobertura de alcantarillado sanitario, se encuentra en el orden de los 10%, produciéndose un stress en el ambiente (VILLAR. 2007), pero es nuestra responsabilidad en el gerenciamiento, no llegar a los límites (STROKE).

Las comunidades del área, a unos cinco kilómetros de Benjamín Aceval, hacia el flanco norte, accediendo a través del trazado asfaltado, de la Ruta Trans – chaco, hacia la localidad de Cerrito, donde finalmente se tiene a mil metros aproximadamente, hacia el oeste, de dicho centro urbano, la Comunidad de Isla Itá,

enteramente conformada por una población indígena estable (VILLAR. 2007). Así mismo, a una distancia similar, pero hacia el norte, se encuentra la parcialidad indígena de Toba Qom. Estas poblaciones se abastecen de pozos excavados con aguas provenientes de las copiosas lluvias, que son almacenadas, en la cada vez más delgada capa de areniscas que sub – yacen el área (VILLAR. 2007).

Es imperativo que un acuífero de gran importancia socioeconómica, como el Acuífero Patiño, sea debidamente controlado y protegido, para asegurar que siga siendo, una fuente sostenible de abastecimiento de agua y que su explotación no cause degradación ambiental inaceptable (VILLAR. 2007).

Los macizos cristalinos precámbricos; al norte, macizo cristalino del Apa y al sur, macizo cristalino Tebicuary, son por excelencia acuífugos, aunque según ciertas condiciones pueden comportarse como un SAF (Sistema de Acuífero Fracturado), aunque en muy raras excepciones.

Con respecto a las Formaciones Geológicas Cámbricas, en la parte sur del Paraguay, no se comportan como acuíferos, mientras que en la parte norte de la región oriental los acuíferos son del tipo “CARSTICO O KARSTICO”, debido al ensanchamiento de discordancias y fracturas por disolución del carbonato, mediante aguas cargadas con anhídrido carbónico. Grandes cantidades de aguas se mueven, donde dan finalmente disoluciones en “GALERIAS”. Los avenamientos o drenajes subterráneos, en muchos casos son seniles de acuerdo a los grados de colmatación que existen. Las calizas comienzan con el tipo “SAF”, que finalmente por disolución y ensanchamiento de discordancias, pueden convertirse en verdaderos ríos subterráneos. Teniendo en cuenta la controversia, estos se denominan “Acuíferos Itapucumí”, en intención al Grupo Geológico Itapucumí, conformado según orden de antigüedad, por la Formación Geológica “VALLEMÍ”, y más arriba la Formación Geológica “CAMBA.JOPO”.

Subiendo en el tiempo geológico, debemos considerar, los acuíferos que corresponden en génesis a la era geológica paleozoica, de manera que los correspondientes a la Serie Geológica Cordillera, son los más antiguos de esta era. Dentro de la Serie Geológica Cordillera, existen varios acuíferos, atendiendo a los grupos geológicos conformantes. Para lo que se debe conocer que la Serie Cordillera,

está compuesta de lo más antiguo para más nuevo, primero por el Grupo Geológico Caacupé, y más arriba por el Grupo Geológico Itacurubi, y cada uno de estos grupos, están formados por tres Formaciones Geológicas a la vez. El Grupo Geológico Caacupé, está conformado en su base, por la Formación Geológica Paraguari o Conglomerado Paraguari, luego sigue la Formación Geológica Cerro Jhú o Arenisca de Cerro Jhú, para terminar posteriormente en la Formación Geológica Tobatí o Arenisca Tobatí. Estos acuíferos corresponden al tiempo geológico denominado Ordovícico – Silúrico y se denominan “ACUIFERO CAACUPE”, en atención al Grupo Geológico Caacupé.

Encima del Grupo Caacupé descansa el Grupo Itacurubi, en cuya base se localiza la Formación Geológica Eusebio Ayala o Arenisca Eusebio Ayala, luego sigue la Formación Geológica Vargas Peña o Lutita de Vargas Peña, para terminar posteriormente con la Formación Geológica Cari – y o Arenisca de Cari – y. Las partes acuíferas corresponden al tiempo geológico denominado Silúrico – Devónico y se denominan “ACUIFERO ITACURUBI”, en atención al Grupo Geológico Itacurubi.

Encima de la Serie Cordillera, existe una gran discordancia estratigráfica, sobre la que reposan sedimentos del periodo geológico carbonífero, estos en la mitad del Paraguay oriental, sufren un cambio drástico de sus componentes. Las formaciones geológicas carboníferas están conformadas principalmente por sedimentos glaciales variados, aparentemente continentales en el norte y predominancia marina al sur. En la variedad litológica, se reconocen conglomerados glaciales, con arranque, transporte y deposición por hielos, componentes angulosos y sub – angulosos, sin selección, estrías y planos pulidos. Estratificación nula, desordenada y se denominan morenas o tillitas, con matriz fina denominada harina de roca. En ciertos lugares estos depósitos suelen tener intercalaciones de areniscas silicificadas, de colores amarillentos, blanco, gris, etc.

Los depósitos glaciofluviales, son por arranque y transporte por hielo, pero la deposición es hecha en presencia de agua líquida. El orden de estratificación es grosero, pero incipiente por la intervención del agua ya en estado líquido. Estos depósitos también son portantes de cantos de rocas pulidas y estriadas, por el

movimiento de los hielos. Forman acumulaciones denominadas DRUMLINS o ESKERS.

Los depósitos mixtos o glacialacustres, formados por el arranque, transporte por hielo, hasta que los mismos, con abundante material incluido, caen en lagos glaciales, donde van derritiéndose y liberando sus materiales en aguas muy quietas, tranquilas y heladas. Por la intervención del agua tranquila, más sustancias disueltas en la misma, los materiales adquieren un perfecto orden de sedimentación y una cementación favorable. Los componentes de estos depósitos son generalmente finos y cuando presentan un visible bandeado se los denominan varves; que son limos y arcillas finamente estratificados, con algunas capas de colores oscuros y claros; los claros presentan tiempos de verano y los oscuros de invierno.

Otros sedimentos son glaci – eólicos, del tipo loesico, compuestos por sedimentos finos hasta arenosos.

Los sedimentos carboníferos del norte, están designados como Grupo Aquidabán, mientras que los del sur, como Grupo Coronel Oviedo. En atención a los problemas estratigráficos del norte, los acuíferos del carbonífero, por extensión, se denominan con el nombre de “ACUÍFERO CORONEL OVIEDO”.

Encima del paquete sedimentario carbonífero, reposa otro grupo geológico, que corresponde al periodo geológico permiano, que alcanza al final de la Era Paleozoica. Este Grupo Geológico, recibe la denominación de Grupo Independencia y está constituido por cuatro formaciones geológicas, clasificadas en base a quinientas perforaciones, con sus correspondientes registros eléctricos y gamma natural.

Las formaciones geológicas de las más antiguas a las más nuevas son como sigue: Formación San Miguel o Arenisca San Miguel: está formada por areniscas intercaladas con siltitas, que en parte pasan a ser siltitas arenosas. Son materiales deltaicos, lagunares, costeros, y lacustres complejos.

Formación Tacuary o Calcáreos Tacuary: está formada por alternancias de areniscas carbonáticas, con facies fluviales y lagunares. También tiene siltitas, lutitas y calcáreos con niveles oolíticos y pedernal. Fueron mares interiores.

Formación Tapytá o Areniscas Tapytá: son areniscas de estratificaciones cruzadas y paralelas. También existen areniscas laminadas a masivas, con pocas arcillas y limolitas. Estas rocas exhiben un flujo trenzado, con presencia también de areniscas eólicas y de corrientes.

Formación Cabacué o Arenisca Cabacué: está compuesta principalmente por alternancias de areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados, con guijarros de arcillitas. Las areniscas presentan pobre continuidad lateral. Las facies de esta formación, son por lo general de origen fluvial y de inundación.

El Grupo Independencia suele proveer buenos caudales de agua subterránea, muchas veces con fenómenos de artesianismo.

Los acuíferos pérmicos se denominan con el nombre de “ACUIFERO INDEPENDENCIA”, en atención a su Grupo Geológico Independencia, que son los últimos de la Era Paleozoica. Hasta aquí tenemos un panorama general, de los principales acuíferos antiguos del Paraguay, coincidiendo, como se pudo ver más atrás, que las nominaciones de los principales acuíferos del Paraguay, directamente, derivan de los Grupos Geológicos.

Ahora, subiendo en el tiempo geológico y dejando, atrás el gran paquete, de acuíferos paleozoicos, debemos entender que acontece al respecto en la era geológica que sigue, o bien en el gran paquete, de acuíferos mesozoicos, que reposan sobre los paleozoicos, tratados con anterioridad.

Se explica algunos conceptos, de lo que es la Era Geológica Mesozoica.

La era mesozoica también se le designa como la era secundaria, de ésta manera, la anterior tratada estaría considerada como era Primaria y la posterior al mesozoico, sería la era terciaria.

La era primaria fue dominada por peces y también abundantes invertebrados. La era secundaria fue dominada por reptiles y amonites y la era terciaria por grandes mamíferos. Cada era está separada por episodios especialmente severos, marcados por desaparición masiva de seres vivientes dominantes, en otras palabras extinciones. Eras son agrupamientos de periodos geológicos, estos a la vez en unidades de tiempos mayores, como hemos visto. Las Eras Geológicas, se aceptan ampliamente y se emplea al tratar la historia de la tierra. La Era Geológica Mesozoica puede

considerarse como, edad de la vida media en la tierra, donde prevalecieron grandes reptiles y su ocaso también con el fin de la era, quiere decir que ninguno sobrevivió, para el comienzo del Cenozoico o Terciario. Es justamente este el tiempo de la génesis del Acuífero Patiño, el tiempo de los grandes reptiles y donde aparecieron por primera vez en el mundo las aves. En el Paraguay toda la Era Mesozoica o Secundaria, transcurrió con intenso volcanismo y basculamientos de bloques y sub – bloques (Ver fotografía: F42, 43, 44, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 64, 67, 68, 69, 75, 76, 78, 80 y 81).

El Mesozoico o era secundaria fue en el Paraguay, acondicionada representativamente, por materiales disgregados, dentro de juego de bloques geológicos, tectónicos, que influyeron de acuerdo al estiramiento de la columna de sedimentos, por las múltiples inyecciones de magmas, predominantemente básico.

Del paralelo, veinte y cuatro grados, hacia el norte, la tendencia de bloques, es fuertemente este – oeste, con distanciamiento estructural, entre 20 y 40 kilómetros, los patrones geométricos del sur son diferentes y serán tratados en los siguientes capítulos.

Por lo expuesto y en base al complicado escenario, geológico (Oporto et al. 2003), define al “Acuífero Guaraní” de la siguiente forma: “En realidad, el Acuífero Guaraní, desde el punto de vista hidrogeológico, está conformado por varias unidades litoestratigráficas distintas, que interactúan entre sí. Es decir que funciona como un complejo sistema, de allí que se lo conozca como Sistema Acuífero Guaraní”.

Según investigaciones del Consultor Félix Villar, las mejores aguas subterráneas para la salud, se localizan en los Acuíferos Silúricos, son las aguas más apreciadas en el negocio hidrogeológico (VILLAR. 2006).

El Acuífero Itapucumí, en las exploraciones actuales dan caudales de hasta 30.000 litros por hora, pero de mala calidad, desde salobres a saladas (VILLAR. 2006), mientras que el Acuífero Silúrico – Ordovícico, contiene proporciones altamente aprovechables, de magnesio, potasio, calcio entre otros, que las hacen aguas muy cotizadas por los conocedores de las aguas envasadas (VILLAR. 2006).

El Acuífero Patiño, en contraste, no posee en sus aguas los componentes silúricos, de manera que son menos cotizadas y son abundantes en iones de hierros (VILLAR. 2006).

En la localidad de Piribebuy, el Acuífero Caacupé, tiene producciones de hasta 500 metros cúbicos por hora, de aguas más cotizadas en el Paraguay (VILLAR. 2006).

En la zona de Caragatay, naturalmente se obtienen acuíferos, con presiones artesianas surgentes, de aguas de excelentes calidades (VILLAR. 2006).

Las agua subterráneas en ciertos sectores del país, quedan fuera de las normas, debido a la acidez por incorporación de anhídrido carbónico, incorporado en las precipitaciones (VILLAR. 2006).

Los basaltos del Paraná, tienen agua en las fracturas, pero se secan durante los tiempos de sequías, además son fácilmente contaminadas (VILLAR. 2006). Éstas son las debilidades que presentan los reservorios del tipo Saf o Sistema Acuífero Fracturado.

El carácter químico de la pared rocosa, también influye en los elemento químicos epigenéticos, por lo que la roca anfitriona direcciona en cierta manera, los iones disueltos, en forma directamente proporcional, a la profundidad del agua y tiempo de residencia en la o las formaciones geológicas.

Los carbonatos son grandes activadores en aquellas condiciones, mencionadas más atrás, pueden movilizar e intercambiar iones con facilidad, podría considerarse como la sustitución química por control geoquímico, así puede entrar en solución el plomo, zinc y otros en la cercanía de filones minerales.

El largo camino ascendente de soluciones, que es normal en acuíferos sometidos a los altos confinamientos, los fluidos experimentan inevitablemente, cambios físico – químico reaccionando con otros niveles de fluidos y las paredes del conducto. En las capas descompresionadas, las soluciones pierden concentración por mezclas de las aguas menos mineralizadas.

Las aguas carbónicas tienen la capacidad de disolver sales, pero también dentro del acuífero, disuelve minerales de hierro, manganeso, fósforo y otros. Ataca a los minerales componentes de las rocas noríticas y diabásicas.

Muchas aguas sulfatadas y cloruradas, encontradas en las fisuras de los Trapps, se debieron sobre todo al ascenso antes mencionado, de aguas de residencia profunda o aguas madres, congénitas, almacenadas bajo, altos confinamientos, en formaciones permio – carboníferas, algunas con lechos evaporíticos del tipo anhidrita principalmente.

Fueron también detectadas en los Trapps del tipo “SAF”, aguas duras, también por aguas congénitas profundas, de otros acuíferos, con niveles marinos, obedeciendo al patrón tectónico germánico.

El subsuelo basáltico, enriquecido con pirita, suele liberar el azufre, formando soluciones de sulfato férrico, esto se constata por medio de perforaciones, abundancia de niveles de pirita, en forma de drusas, también en el permio – carbonífero. El agua carbonica se debe al agua meteórica, o materia orgánica antigua, en proceso de su subsidencia, también en el proceso de disolución de carbonatos.

Las aguas subterráneas fluoradas del “ALTO YGATIMI”, se debe al apatito, monacita, baritas y fluoritas, en el emplazamiento de rocas alcalinas, que produjeron una expansión de la columna estratigráfica, por sucesivas inyecciones, otros investigadores también atribuyen a materiales piroclásticos, ya que las rocas alcalinas traen un cóctel de elementos químicos activos, indicando sus emplazamientos, en bordes cratogénicos, donde se propicia la hibridación magmática.

Muchas rocas alcalinas, inclusive dentro del “SAG” “Sistema Acuífero Guaraní” de la era geológica, secundaria o mesozoica, fueron mineralizadas, con pirrotinas, que en el proceso de percolación, producen aguas muy ácidas, tremendamente reactivas en sub – superficies, atacando y solubilizando, inclusive la baritina difícilmente soluble, produciendo el bario soluble.

En la alteración supergénica, en carácter químico de la pared de la roca, determinan óxidos disueltos y sulfuros, a manera que este fraccionamiento cortical, en sistema tectónico poligonal de mosaicos (Ver anexos), produce disoluciones en la roca hospedadora y en la roca huésped, que dan al carácter químico, a las aguas subterráneas de los basaltos del Paraná “SAF”.

Los proyectos en la Cuenca de Paraná que investigan el potencial hidrogeológico de la misma, están encontrando pruebas insospechadas, por ejemplo, padrones de flujos,

propiedades químicas y nuevos sistemas para la protección ambiental del “SAG”, Sistema Acuífero Guaraní y sus patrones tectónicos. Mediante estos se realizaron integración de datos geofísicos, geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos. Se han interpretado y aparecido bloques romboédricos, pero lo más espectacular que gracias a investigaciones, especialmente del Brasil, han aparecido nuevos lineamientos estructurales pero de características regionales que controlan las aguas profundas y son de orientaciones nor – oeste – sur – este y otros de menor importancia este – oeste y norte - sur, esto es perfectamente lo que también tenemos en el Paraguay (Ver anexos).

Los estudios especializados en la Cuenca de Paraná, también, permitieron demostrar, conexión hidráulica entre la parte granular y la parte fisural, en el SAG Sistema Acuífero Guaraní, con diferentes mezclas de aguas subterráneas o también denominado como tazas de mixturas. Por eso el agua del SAF, basáltico muchas veces no refleja una composición acorde o esperada en estas rocas, debido a mezclas de aguas subterráneas, aparte de la mezcla normal de aguas carbónicas meteóricas de infiltración.

Las mezclas ascendentes se deben a los acuíferos infra – puestos, demostrado por Bittencourt et al 2006. para contribuir y entender los mecanismos que actúan, en la dinámica de flujo de los Trapps y avalar la conectividad como un Sistema Acuífero o Sistema Acuífero Guaraní, sobre todo en un patrón nor – oeste, que interesa al Río Paraná hasta la plataforma continental brasilera, en el Atlántico oeste. Los métodos más modernos han demostrado que los basaltos en la Cuenca de Paraná se formaron entre los 127 a 137 millones de años, es decir entre los periodos geológicos Jurásicos y Cretácicos. La composición de las aguas en el SAG, especialmente en los paquetes de lavas, está condicionada, tanto a factores genéticos del paquete, actuando aguas de los inter – trapps, amígdalas, vesículas, disyunciones, fallas, fracturas y tipos de rocas, que condicionan la circulación de aguas subterráneas. En ciertas áreas las recargas son ascendentes, presentando valores discordantes, con respecto a la química esperada. En el Brasil pudieron identificar bloques tectónicos, en patrones romboédricos, algunos compartimientos son de alta productividad hidráulica, con estructuras balizadas como nor – oeste y nor – este (ALHSUD. 2005), con diques de

doleritas o lo que es lo mismo microgabros de granos cristalinos medianos. Los altos valores de sólidos totales disueltos, coinciden con las aguas subterráneas más antiguas o de mayor tiempo de residencia en la formación geológica, cuanto más alcalina es el agua subterránea del basalto, más influencia tienen los acuíferos granulares infrapuestos, por medio de lecaje o goteo invertido.

Las aguas de los basaltos generalmente son bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas calcio – sódicas hacia las calcio – magnesianas o bicarbonatadas sódicas, Bittencourt, 2006, las bicarbonatadas sódicas, en las estructuras nor – oeste, en conexiones profundas y en los cruzamientos con los nor – este. Las aguas alcalinas tienen un emplazamiento espacial en los trapps, condicionados a bloques tectónicos, mientras que las aguas neutras son propias del basalto, así la alcalinidad es indicativa de recarga ascendente, por eso denominar como Sistema Acuífero Guaraní es correcto, por ser un paquete acuífero con aguas subterráneas híbridas (ALHSUD, 2005).

La recarga principal de los trapps, es por pluviometría, en lugares del manto de alteración, pero con ciertas condiciones estructurales, puede ocurrir recarga ascendente, Fonseca, et al 2005, inyección de aguas antiguas del SAG – granular al SAF (Trapps), con aguas jóvenes bicarbonatadas cálcicas, por la típica acción intempérica en basaltos. Las aguas inter – actúan con las rocas, traen las memorias de los lugares de residencias, así al sur de la Región Oriental, los basaltos se encuentran en subsidencia, sus aguas se enriquecen en sílice por grado geotérmico y las conexiones hidrográficas.

Con este nuevo concepto de conectividad hidráulica de sistemas, Fonseca et al 2005, se trata el problema con visión científica, en las entradas de agua. las muestras bicarbonatadas sódicas, señalan conexión, SAG granular, aumento de “PH”, asociado a estructuras nor – nor – oeste y nor – oeste, confirmando que son las más profundas. La variación química de las aguas subterráneas que se hospedan dentro de los Trapps, están íntimamente marcada a estructuras profundas y las superficiales.

Los valores más altos de flúor en el agua subterránea del basalto, son valores mayores a 1,8 miligramos por litro, están en la zona de Puerto Presidente Franco, Ciudad del Este y Mínga Guazú. También en la zona de Itaipú y al sur.

Valores superiores a 250 miligramos por litro, de sulfato soluble en el agua subterránea del basalto, también corresponde a las localidades de Ciudad del Este, Puerto Presidente Franco y Minga Guazú. Valores superiores a 250 miligramos por litro, de cloro disuelto en el agua subterránea del basalto, también corresponde a las localidades de Ciudad del Este, Puerto Presidente Franco y Minga Guazú.

Los valores anómalos de flúor, sulfatos y cloro disueltos, se localizan en geoclasas abiertas que afectan a los basaltos de Trapps de Paraguay y el substrato pre – trapps.

Aguas subterráneas de “PH” alto, son de esperar en las partes profundas de los basaltos, en el Alto de Ygatimi, sur del Río Monday donde pasa la Faja del Tebicuary – mi, en el Alto de Taba - i, como también en las longitudes abiertas de Falla de Puerto Paloma (ver anexo). La sobre – explotación de las aguas subterráneas de los basaltos de los trapps, movilizan aguas congénitas, de los materiales conformantes del substrato basáltico – SAG – granular.

En el Chaco son pocos los depósitos de aguas dulces, que sobreviven en las estaciones secas y no son suficientes para un abastecimiento suplementario, Godoy et. al 1995. Los intervalos acuíferos encontrados, son lenguas de aguas subterráneas, indudablemente alimentados en territorio boliviano, Vera et al 1971.

En general, más estratos de arena son encontrados en la parte oeste del Chaco, mientras que existe un incremento de capas arcillosas hacia el este, Tullstrom, et al 1973. El cuerpo de agua dulce aparentemente buza hacia el este, con un gradiente aproximado de 1 metro en 2.000. El contenido mineral del agua subterránea profunda, aumenta gradualmente hacia el este. Aproximadamente 130 kilómetros al este, del límite Paraguay – Bolivia, la calidad del agua subterránea alcanzado el límite de potabilidad para consumo humano, proyecto PAR/69/516.

En el Chaco Central, donde se puede diferenciar áreas de campos y bosques, el agua subterránea dulce y salobre, se puede encontrar, en las áreas de campo, mientras que en las áreas de bosques, solamente se presenta agua salada, proyecto PAR/69/516.

Las unidades taxonómicas del Chaco, propuestas por Godoy (1989), es la siguiente: Piso Hidrogeológico Chaco: corresponde la formación geológica de edad terciario – cuaternario. (Ver fotografías; F40, 56, 57, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75).

Complejo Acuífero Aluvial: acuíferos freáticos, que se extienden por todo el Chaco deprimido o húmedo, en la planicie de inundación de los numerosos ríos y riachos, que desaguan al Río Paraguay.

Complejo Acuífero Paleocauce: acuíferos freáticos y/o semiconfinados, en paleocauces colmatados, meandros y canales abandonados, que se extienden por el Chaco seco y la planicie de inundación del Río Pilcomayo.

Complejo Acuífero Yrendá: acuíferos confinados y/o semiconfinados, que se extienden prácticamente por todo el Chaco, contribuyendo un sistema hidrogeológico regional.

El modelo propuesto por Godoy (1989), es demostrable, en los comportamientos de flujo y calidades de aguas subterráneas del Chaco paraguayo, simplificando, un conjunto de reservorios modernos que pueden ser aprovechados en la provisión de aguas subterráneas. El flujo regional es de nor – oeste a sub – este y de oeste a este, así las áreas con disponibilidades relevantes de aguas subterráneas, son las de la parte occidental, por presentar mayores espesores de materiales permeables y por la mejor granulometría de las arenas, las que son predominantemente de tamaño mediano, prácticamente en todos los acuíferos el sodio es predominante, mientras que regionalmente la denominación aniónica, de los acuíferos profundos, evoluciona a lo largo de la línea de flujo subterráneo, oeste – este, hacia una composición química similar a la del mar, Godoy et al, 1995. Es decir en la zona de recarga aguas carbónicas, en la zona de transmisión aguas sulfatadas y zonas de descargas o próximas a las descargas, aguas subterráneas cloruradas.

El Chaco paraguayo se puede considerar, en cuanto a investigaciones hidrogeológicas, como la región de mayor número de estudios para la búsqueda, exploración y evaluación de los recursos de aguas subterráneas del Paraguay, Godoy et al, 1995. La presencia de agua salada, estaría relacionada con una ingesión marina, desde el sur, en el mioceno – plioceno (Terciario superior), que habría sido de poca profundidad. En este cuerpo de agua desembocan, los Río Parapiti y Pilcomayo. La evaporación de este mar, debido a cambios climáticos posteriores (principalmente el clima árido del pleistoceno, (ver fotografías, F65, 70, 71, 72 y 74),

contribuyeron en gran manera a la ocurrencia de sales evaporíticas, causantes de la elevada salinización de las aguas subterráneas, (Godoy, et al, 1995).

Se podrían considerar como mares interiores los cuerpos de agua salina ingresados por el sur y otros más antiguos, quedando en áreas restringidas, por el levantamiento del Cordón Andino.

Grandes cuerpos de cloruro de sodio puro, fueron atravesados por perforaciones profundas de exploraciones petroleras en el Chaco.

Corresponde mencionar, como una depresión alargada, desplazada hacia la Cordillera de los Andes, de Sud – america, hacia el sur del Continente, hasta el norte, donde cuencas de gran rapidez de subsidencia, fueron formadas, especialmente al comienzo del cenozoico, en forma de rosarios y de espesores descomunales de sedimentos alojados. Estas cuencas se consideran como cuencas orogénicas sub – andinas, donde anticlinales y sinclinales, alteran posiciones normales de secuencia y predominando estructuras tectónicas de plegamientos, con fallas gigantes de miles de metros y de bajo ángulo de emplazamiento. Esto lo diferencia en fuerte contraste con la tectónica oriental donde las fallas formadoras de los relieves, están caracterizadas por los grandes ángulos, casi siempre normales.

## **CAPITULO 6**

### **GEOLOGÍA Y TECTÓNICA DEL PARAGUAY**

El Río Paraguay, marca dos Comarcas, tectónicas características en sus ambas márgenes, al oeste, el Paraguay Occidental o Chaco y hacia el este, el Paraguay Oriental o Región Oriental. Lavas basálticas aflorantes, se encuentran en la Región Oriental, ocupando grandes extensiones, especialmente en las márgenes del Río Paraná, corresponden a las áreas más elevadas del Paraguay.

Donde el planalto basáltico termina, se produce una divisoria de aguas, de dirección norte – sur, con una vertiente hacia el este y la opuesta oeste. Esta condición se altera extrañamente, es al sur del Departamento de Itapúa, donde la divisoria de aguas se transforma este – oeste. Los basaltos o SAF, del Brasil meridional, alcanza hacia el oeste al Paraguay, al sur el Uruguay y Argentina.

Conforman los derrames basálticos más grandes del mundo, están encimados en forma de meseta o plateau, que se limita en escalones, denominado por la palabra sueca “Trapps”.

En Paraguay se encuentra así compartiendo, dos grandes cuencas regionales, en el corazón del continente sud – americano. Hacia el occidente, la Gran Cuenca Chaco – Pranaense, donde su mejor expresión litológica aflorante, se encuentra en la zona andina. Hacia el oriente, la Gran Cuenca del Paraná, con afloramientos accesibles en nuestro país. Conforman el flanco oeste de la Cuenca de Paraná, rocas de la era paleozoica y asomos cristalinos del precámbrico – eocámbrico.

Las rocas precámbricas están aflorantes en el Paraguay, en los Departamentos de Concepción y Misiones, con litologías metamórficas y magmáticas, intensamente intemperizadas y erosionadas. Siguen a estas rocas, un paquete calcáreo denominado “SERIE ITAPUCUMÍ” Harrington 1950, con arcosas en la base, margas y luego

calizas, son de edad eocámbricas. Continúan más arriba, las rocas de la serie cordillera, Harrington 1950, de edad ordovícica – silúrica. Sigue luego una gran discordancia estratigráfica, sobre la que reposan rocas permo – carboníferas, que contienen la memoria del fraccionamiento del Super – Continente Gondwana, como final de la era paleozoica y comienzos de la era geológica mesozoica. El cambio de era trae aparejado un cambio planetario, debido a que en esa parte del continente se produce un ambiente desértico y luego los derrames de lava más grandes del mundo. Durante este escenario geológico, se producen grandes depresiones tectónica, que más tarde son rellenadas por fanglomerados, aglomerados y conglomerados, con fuerte influencia gravitacional y de mala clasificación en la base. Los materiales del relleno son de origen continental, piroclásticas, fuertemente teñidos de óxidos de hierro y alta silicificación en la cercanías magmáticas. (Ver fotografías, F1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 75, 78, 79, 80 y 81).

El Bloque de Asunción forma parte de un tren de fracturamientos ( ver anexo), entre dos grandes fallas de dirección nor, nor – oeste, responsables de la captura del Río Paraná por el Río Paraguay y lo transforma desde aquí, en un río de llanura. Durante las actividades tectónicas de estas mega – estructuras, el Bloque de Asunción, sufrió una rotación anti – horaria, mientras que el Bloque de Villa Hayes una rotación tectónica en sentido horario (ver anexo). El ancho del tren de fracturamiento es de 90 km; donde varios bloques tectónicos fueron rotados, hundidos y elevados (ver anexo). Gran parte norte de esta mega – estructura, se encuentra hundida en la Gran Cuenca Chaqueña. El empuje predominante tiene sentido de sur – este hacia el nor – oeste, produciendo en el Paraguay más de siete bloques tectónicos desmembrados, aflorantes o semi – aflorantes (ver anexo). La Fosa de Asunción, fue evolucionando, con fuerte predominio de estilo distensional de ruptura, tornándose en un complejo de sub – bloques, fragmentados y encajados a su vez, dentro de la mega – estructura (ver anexo), quedando como una sub – cuenca tectónica, dentro de los grandes lineamientos continentales. El análisis del relleno indica que al principio predominaron cargas detríticas por gravedad, deslizamientos, abanicos de escombros,

flujos piroclásticos, corrientes caóticas, aluvios y coluvios torrenciales, en su mayoría de poco transporte y con presencia también de agua sólida y líquida. Los grandes fragmentos basales, indican descomunales desniveles tectónicos, con eventos clásticos y piroclásticos de alta energía, que tendieron a la rápida nivelación de un escabroso paleo – relieve, generado por una corteza inestable, acompañado de eventos magmáticos explosivos, al comienzo, (ver anexo). Hacia la parte superior predominaron psamitas ferruginosas de claro origen fluvio – eólico más maduras. Al final del ciclo evolutivo tecto – basculante, se entrelazaron magmatitas básicas nefelínicas, no cesando el proceso sedimentario y magmático. El magmático explosivo alcalino, luego toleítico, luego dolerítico, luego toleítico para finalizar con nefelinitas olivinicas, en partes con asimilación de mucha sílice por efecto de las rocas anfitrionas.

Las clases litológicas predominantes, indican las rocas originarias, distancias de transportes, grados de elevación del sector de origen, hasta la profundidad de la cuenca. En muchos sectores la fragmentación es contemporánea de la acumulación. El relieve era prominente, erosión rápida que produjo materiales gruesos inmaduros, es notable el exceso de matriz, que indica intervenciones de corrientes, deslizamientos de turbidez – subácueos y hielo glaciario u otras formas de transportes, como corrientes piroclásticas. La disparidad extrema en tamaños, denota una historia desacostumbrada e indica acumulación desde medio de mayor densidad y/o viscosidad o infiltración post – deposicional de granos finos en unos bloques dejando espacios intersticiales.

Resultando conglomerados del tipo polimictico, con gran variedad de fragmentos líticos, indicadores de potentes acumulaciones de márgenes de cuencas, procedentes de altiplanicies abruptamente sobre – elevadas. Muestran erosiones rápidas y asociadas a fallamientos contemporáneos.

El proceso de riftamiento, es extracontinental o marginal, donde se generaban proto – océanos, que no han podido concretarse, por lo que la sedimentación predominante era terrestre, de conos aluviales, pie – demonte, que avanzaron y dividieron las depresiones en segmentos asociados a tectonismos ( Ver fotografías: F1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,

31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 75, 76, 78, 79, 80 y 81).

Las fajas móviles intracontinentales o peri – continentales no siempre están deformadas, pudieron estar en el margen continental, aquí la sedimentación ha tenido lugar en una fosa tectónica o en una semi – fosa tectónica, con estructuras generadas por desmoronamientos tectónicos. La velocidad de sedimentación, era una función, tanto de la velocidad de aporte, como la de hundimiento, ambas por acción tectono – magmática. Los sedimentos que eran aportados a las cuencas en hundimientos, rápidamente se depositaban sin re – elaboración apreciables, así aconteció a la Formación Patiño (ver fotografías: F 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8 ,9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 ,38, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 59, 65 y 78).

La Formación Patiño se originó por la destrucción de grandes volúmenes de otras formaciones geológicas, precámbricas, eocámbricas, ordovícicas – silúricas, permocarboníferas, que se desintegraron por tectonismo, diatremas y procesos erosivos varios. En aquellos dominios, tectónicos, magmáticos y de fosas, se producían grandes desniveles, por alzamientos y hundimientos de bloques (ver anexos). Velázquez, et al 1999, analizaron una serie de diques magmáticos, en la Suite Sapucaí, con orientaciones preferenciales, NW – SE y NE – SW, siendo la primera más común y coincidente con la mega – estructura de 90 km de ancho, denominada Mega Cizalla Coronel Bogado (ver anexos).

En base a la asociación petrográfica pudieron constatar, que precedió una rotación horaria, concomitantemente al desplazamiento de los diques, Velázquez et al, 1999.

El padrón de orientación de los diques, en conjunto con otros indicadores cinemáticos, observados en el terreno, indica que el alojamiento de esos cuerpos ocurrieron como sub – acción de un tectonismo dextral transcurrente, con una orientación binaria este – oeste, Velázquez, et al, 1999.

Al finalizar el esfuerzo tectónico, los bloques recibieron diversos grados de relajamientos o alivio de tensión, desarrollando fallas y fracturas distensionales, rellenadas por los materiales sobrepuestos, en muchos casos arcillas caolínicas contaminadas y bentonitas sellando espacios y huecos vacíos.

Son comunes las cuencas tafrogénicas, de origen tectonomagmático, rellenas por conglomerados, fanglomerados y aglomerados, ocupando paleo – depresiones. Generalmente sobre estos yacen areniscas rojas (ver fotografías, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 75, 76 y 78). Las areniscas pueden desarrollar disyunciones columnares, como hábitos de intrusiones; también en estos sectores se observan lavado de la matriz, cemento y pigmento, que Ayala, et al 2006, han denominado “DECOLORACIÓN SECUNDARIA O ALOCTONA” (ver fotografías). Así toda la masa de roca bañada, recibió contracción diferencial en el enfriamiento, originándose una conjugación o juegos de diaclasas. En algunos sectores este evento fue potenciado hasta resultar prismas o pseudo – prismas de areniscas, denominados por Eckel, 1959 como pseudo – traquita. Muchos granos minerales fueron reabsorbidos al 100%, en otros casos se reconocen relictos o granos testigos. Más tarde el producto de corrosión fue depositado como sílice hidratada al cesar el calor. (ejemplo en el Cerro Patiño, Santa María de las Misiones y otros).

Una serie de intrusiones de tipo tabulares, diabasas, diques y sils, afectaron a los sedimentos en cuencas tafrogénicas. Ejemplo Sapucaí. Ybytymi, Itá, Yaguarón, etc. Al final de la secuencia se depositaron arenas eólicas de ambientes desérticos, muy invadidos por fluidos sobre – calentados, encontrándose ágata como relleno de cavidades, como ocurre en las areniscas del Departamento de Misiones.

El Bloque de Asunción, ocupa el centro de una franja de cizallamiento, con desplazamiento hacia el nor, nor – oeste (ver anexos), denominada “Mega Cizalla Coronel Bogado”, que corresponde a la parte oeste de un gran desmembramiento continental, por lo que es la estructura tectónica aflorante, más importante del Paraguay y del protocontinente sub – americano (ver anexos).

Muchos cursos de aguas fueron rejuveneciendo a causa de los últimos procesos de basculamientos tectónicos, estableciéndose así nuevas nacientes para los nuevos colectores, (ver fotografía: F40, 53,56,57,58,62,63,64,66,67,68,69 y 75). Estos fenómenos también afectaron los aportes subterráneos, moviendo reservorios de acuíferos libres y semiconfinados, variando lateralmente límites extremadamente

abruptos, con la consecuente instalación de barreras hidrogeológicas, explicaciones del estrés hidráulico, de algunos compartimientos en bloques y/o sub – bloques. (ver anexos).

Por lo general los materiales del Acuífero Patiño no presentan los verdaderos rigores diagénicos, Ayala, et al, 2006, factor que favorece la buena permeabilidad, mientras que la arcilla la disminuye.

Según Ayala et al, 2006, los materiales del Acuífero Patiño, que presentan litificación, se debe a silicificación por acción secundaria de cuerpos ígneos cercanos, que irrumpieron en sedimentos sueltos, en un modelo deposicional, que sale de las cuencas clásicas, para ajustarse a uno puramente tectónico, segmentado en mosaicos, que lo diferencia fundamentalmente del modelo pérmico de cuencas clásicas. Este hecho explica, pozos secos o con muy bajos caudales, barras de perforaciones atrapadas y perdidas de la inyección. Cercanos a bloques tectónicos, se encuentran diques magmáticos, muchos no expuestos, que han movilizado grandes masas de aguas freáticas, sobrecalentadas, en materiales detríticos muy permeables. Durante el paso por los espacios, se enriquecieron con minerales disueltos, convirtiéndolas en aguas químicamente agresivas, capaces de producir tubificaciones por corrosión, que al ser enfriadas, depositaron su carga mineralizada, silicificando sedimentos, abundante precipitación química en huecos y fracturas; pudiéndose observar hasta paleo – niveles freáticos o paleo – napas, muchas de ellas inclinadas por basculamientos posteriores de bloques tectónicos (ver fotografía, 1 , 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 43, 44, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69 y 75).

Originalmente el Acuífero Patiño, era más permeable, ver microfotografías F13 y F14, lo que facilitaba una masiva invasión de aguas cargadas químicamente, percolando sedimentos, arrastrando pigmentos ferruginosos, bañando granos minerales y fragmentos líticos, por recalentamiento de la freática, atacando los mismos granos, matrices cementos y pigmentos. La movilización mencionada a sido tan energética, que ha separado granos debilitados, desarrollando fracturas de enfriamiento y alivio de tensión.

Las soluciones muy móviles, sobre calentadas, fueron inyectadas, arrastrando consigo sílice fibrosa depositada en huecos, Ayala, et al, 2006. Las areniscas superiores, también presentan espacios por donde circularon fluidos silíceos, siguiendo planos de debilidades, como fracturas entre cruzadas, inter – estratos, entre otros. Ver fotografía. En casos también los granos exponen fracturas poligonales vulnerables al ataque de fluidos, Ayala, et al, 2006.

Con los nuevos conocimientos del Bloque de Asunción, se ha descubierto, que los materiales del Acuífero Patiño, no son exclusivos del Bloque de Asunción, la ausencia de verdaderos procesos diagénicos, la articulación en Segmentos Tectónicos (ver anexos), hace que el contexto corresponda a un sistema acuífero, no solamente del Bloque Asunción, sino al Bloque de Nueva Italia, Villa Hayes, Adrián Jara, Misiones, Nor – este del Paraguay Oriental y sobre todo la interfase del Paleozoico, con los basaltos de Paraná (Ver fotografía 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 75, 76, 78, 79, 80 y 81). Las cuencas tafrogénicas o réplicas del Acuífero Patiño, por lo general contienen en la base materiales groseros, denominados, Formación Patiño, Spinzi 1983 y en el tope, areniscas más maduras, ferruginosas, medianas a finas, denominadas, Formación Yaguarón, Bartel 1994. ver anexos.

A los efectos de ubicarnos en el tiempo geológico, transcribimos eventos geológicos, de rocas alcalinas, que modelaron el relieve, antes de los trapps de Paraná, estos últimos datados con los métodos más modernos, entre los 127 a 137 millones de años, correspondientes entre los periodos geológicos Jurásico y Cretácico.

- Cantera MOPC (estructura anular NW, de la Cord. De Yvytyruzú): 165,6 millones de años. Jurásico.
- Aguapety – portón: 138,1 millones de años. Jurásico – Cretácico.
- Mbocayaty: 139 millones de años. Jurásico – cretácico.
- Sur de Coronel Oviedo: 139 millones de años. Jurásico – cretácico.
- Borde norte de las estructuras de Sapucaí: 147 millones de años. Jurásico
- Dos km. De Sapucaí, hacia Sta. Isabel: 178 millones de años. Jurásico.
- Dos km. De Sapucaí, hacia Sta. Isabel: 179 millones de años. Jurásico.

- Cerro Santo Tomás – Paraguarí: 183,5 millones de años. Jurásico.
- Cerro Santo Tomás – Paraguarí: 136,8 millones de años. Jurásico – cretácico.
- Cerro Charará 5km. De Paraguarí: 149 millones de años. Jurásico.
- Cerro Charará 5km. De Paraguarí: 152,7 millones de años. Jurásico.
- Cerro Corá: 143 millones de años. Jurásico.
- Cerro Corá: 146 millones de años. Jurásico.
- Cerro Corá: 138 millones de años. Jurásico – cretácico.
- Arroyo Gasory: 145 millones de años. Jurásico.
- Arroyo Gasory: 137 millones de años. Jurásicos – Cretácico.
- Cerro Boggiani – Alto Paraguay: 234 millones de años. Triásico.
- Próximo a la Isla, fecha Dos Morros: 253,2 millones de años. Pérmico.
- Cerro Boggiani – Alto Paraguay: 223,7 millones de años. Triásico.
- Próximo a San Juan Bautista: 137 millones de años. Cretácico.
- Cerro Caajovy – Misiones: 145,7 millones de años. Jurásico.
- Arroyo Gasory: 145 millones de años. Jurásico.

Como puede observarse, las rocas alcalinas, Pre – trapps, en el Paraguay comienzan entre el pérmico, triásico y jurásico. Estas rocas alcalinas, están caracterizadas por el alto porcentaje de álcalis, en relación a la sílice y la alumina. También se las denomina con el nombre de rocas ATLANTICAS.

Sus minerales son ricos en iones de sodio y/o potasio, una vez formada los minerales pueden reaccionar con el magma adjunto, durante el proceso de diferenciación, cambiando así su composición, por ejemplo: el olivino puede convertirse en augita. En muchos caso, fragmentos de rocas de cada lugar, se incorporan al magma y son fundidos, alterando la composición química y mineral del magma, formandose magma híbrido. La principal composición mineral es:

Feldespatos	59%
Augita y Hornblenda	17%
Cuarzo	12%
Mica	4%
Otros Minerales	<u>8%</u>
	100%

Son rocas muy explosivas, cuando digieren rocas y se van, enriqueciendo con silicato. Las rocas alcalinas pre – trapps, fueron asociadas a los intensos hundimientos y alzamientos de bloques tectónicos, dando el ambiente propicio para cuencas tafrogénicas, donde se cargaban, con bloques, componentes piroclásticos, y arenas, de la desintegración de areniscas, cuarcitas y basamento cristalino, al tiempo que se intemperizaban mantos volcánicos, mezclando también, unos componentes lateríticos, altamente ferruginosos, por las nuevas inyecciones o diatremas, que desintegran, los anteriores cuerpos alcalinos, depositándolos en la base de la Formación Patiño. (Ver fotografías:F1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,55,59,65,78, 80 y 81).

Ahora se puede comprender, que la Formación Patiño y la Formación Yaguaron, que conforman el Acuífero Patiño, son contemporáneos a los primeros cuerpos alcalinos pre – trapps.

Su color rojo deriva de los suelo lateríticos, en medio oxidante continental. Los procesos de coloración fueron singenéticos y epigenéticos, comenzaron con el emplazamiento de las primeras rocas alcalinas, de este lado de la Cuenca de Paraná y también con los primeros fracturamientos en mosaicos de fuertes características germánicas. Muchas de ellas se hallan inundadas por los campos de lavas más grandes del mundo, que conforman los basaltos de Meseta del Paraná. Abundantes son los elementos incompatibles, debido a la complejidad magmática alcalina, para génesis diversas y mucha contaminación a nivel crustal. Así la geología es fuertemente condicionada al Juego de Bloques (ver anexos), que influyen, según el estiramiento de la columna de sedimentos, por múltiples inyecciones de magmas, predominantemente alcalino y básico más tarde. Del paralelo, veinte y cuatro grados, hacia el norte, la tendencia de bloques, es fuertemente este – oeste, con distanciamiento estructural, entre 20 y 40 km. Desde el paralelo veinte y cuatro grados, hasta veinte y cinco grados, predomina un patrón, nor – oeste y nor – este, en mosaicos levantados y hundidos, 40 por 40 km, hasta 80 por 80 km. Desde el meridiano 56 grados, hasta el Río Paraná, finalizando al norte, con el paralelo 25

grados, los bloques, varían desde 30 por 30 km, hasta 100 por 70 km, en forma de mosaico, en patrón nor – oeste y nor – este. Cabe resaltar que cada bloque vuelve a sub – dividirse en sub – bloques pequeños y con movimientos diferenciales (ver fotografías y anexos), cada límite, fue un paso de alimentación para los trapps. De esta manera, se diferencian tres regiones de emplazamientos basálticos.

Existen bloques que exponen el Precámbrico, otros el Silúrico, otros el Carbonífero, otros el pérmico, otros la Formación Patiño y Yaguarón (ver fotos y anexos), sobre ese contexto, se derramaron los basaltos del Paraná, además también grandes volúmenes se inyectaron.

Desde el carbonífero inferior hasta nuestros días, el continente Sud – americano, viene rotando en sentido horario (ver anexo número 4 y 7), produciendo las fallas más largas del Paraguay, en forma de abanico (ver anexo 7).

La trasgresión carbonífera sigue con una regresión, al final del periodo geológico pérmico, de manera que emergen grandes tierras, ya en forma de bloques tectónicos, iniciándose la deriva continental. Aquí se producen cambios drásticos del clima mundial, coincidiendo con una violenta distensión cortical, con magmatismo generalizado, ambiente desértico y profunda destrucción del relieve. La aparición temprana de los Rifts Triásicos y Jurásicos, con centros alcalinos en plena actividad, y más tarde inundados por descomunales pulsos de lavas, con máxima intensidad en el Cretácico (paroxismo). Muchos rasgos geológicos están sepultados, por los mantos de lavas regionales (ver fotos y anexos). Estas lavas llegaron a la cuenca Chaco – Paranaense, ya limitado, por las primeras tierras acrecionadas por el sistema Proto – Andino. Lo que al oeste, produce mares someros de plataforma, en proceso de subsidencia en el Chaco, produciéndose una trasgresión Cenomanense al Cenozoico, con fuerte desmembramiento occidental, presentado por la “Mega Cizalla Coronel Bogado” (ver anexo N° 2, 3, 5, 6 y 7). El proceso de distensión, produce rotación de bloques a lo largo la gran estructura. Al norte el Bloque Villa Hayes, en sentido horario; el Bloque Asunción, en sentido anti – horario, el Bloque Sapucaí en sentido horario y el Bloque Río Tebycuary, en sentido anti – horario (ver anexo número 7).

El desmembramiento occidental del proto – continente sud – americano, se produjo por gigantescas fallas de direcciones principales NNW, con evolución de subsidencia hacia el oeste y sepultadas en el Brasil, por los últimos pulsos de lavas (ver anexo número 2, 3, 5, 6 y 7).

En el triángulo equilátero, formado por la confluencia de los Río Paraná y Paraguay, cuyos lados, son de 250 km, el desmembramiento fue tal que el sub – bloque más pequeño tiene 7 por 20 km, descompresionados en padrón norte – sur, nor – oeste y nor – este, con emplazamientos de rocas ultra básicas. (ver anexo numero 8).

Las inyecciones de magmatitas, se iniciaron en el pérmico y finalizaron en el terciario, abarcando la última parte del paleozoico, todo el mesozoico y parte del cenozoico, lo que hace que grandes extensiones de América del Sur, estén afectadas por magmatismo de tendencia básica intermedia.

Al sur del Río Ñacunday, existe un alto gravimétrico, que hace orientar en dirección este – oeste, la divisoria de agua, el mismo hace rotar en sentido horario, la vertiente hacia el Río Paraná (ver anexo numero 1, 2, 3, 6, y 7).

Sobre el mosaico tectónico, representado en el anexo número 8, irrumpen las tres fallas más importantes del Paraguay, no contrastadas en mapas aeromagnéticos, pero si en gravimétricos y satelitales.

Las mismas son aflorantes, en forma de abanico, por rotación horaria del continente Sud – americano (ver anexos).

Directamente al sur del Río Ñacunday, existe un levantamiento profundo del precámbrico, que se descubre en la gravimetría (ver anexo numero 3 y 7).

Este es el responsable, del cambio de dirección de la divisoria de agua. otro levantamiento existe al sur de Ygatimi, pero con la diferencia, de que su emersión, se debe a un estiramiento de la columna estratigráfica, por intervención de rocas intrusivas básicas y alcalinas. (ver anexo N°3, 1 y 2).

La Mega Cizalla Coronel Bogado y la Falla Puerto Paloma son las más importantes del Paraguay, aflorantes, varias veces reactivadas, desmembrando la parte occidental, de la Cuenca del Paraná (ver anexo N° 7), finalmente para formar la cuenca chaqueña.

De esta manera el Paraguay, se encuentra compartiendo dos grandes cuencas regionales, en el corazón del continente Sud – americano. Hacia el occidente, la Gran Cuenca “Chaco Paranaense” donde su mejor expresión litológica aflorante se encuentra en la zona andina. Hacia el oriente, la Gran Cuenca de “PARANA”, con afloramientos accesibles en nuestro país, conformando estos, el flanco oeste, de la última mencionada.

Las rocas que la limitan en el lado paraguayo, son rocas precámbricas y paleozoicas. Las rocas precámbricas en el Paraguay, están aflorantes, en los Departamentos de Concepción y Misiones, con litologías metamórficas y magmáticas, intensamente intemperizadas y erosionadas. (ver anexo N° 1, 2, 6 y 7).

El zócalo continental, está severamente fragmentado y compartimentado (ver anexo y fotos), con materiales de relleno, oriundos de la gran fragmentación del “PANGEA”.

La Mega Cizalla Coronel Bogado y la Gran Falla de Puerto Paloma, interactuando con el levantamiento del Alto de Tavai, de dirección este – oeste, son las responsables, de la captura del Río Paraná, por el Río Paraguay (ver anexos N° 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

Una gran faja de dirección este – oeste, fue tremendamente activa, para el magmatismo de Paraná. Ella pasa por Paraguarí, Sapucaí, Norte de Villarrica, Norte del Yvytyruzú, Río Monday y en Argentina y Brasil, Río Yguazú. La faja, se denomina “FAJA DEL TEBYCUARYMI”, por encajarse en el Río Tevycuarymi que fluye de este a oeste, y el Río Tevycuarymi que fluye en sentido contrario vale decir de oeste a este ambos desembocando en la Mega Cizalla Coronel Bogado, para finalmente, dirigir sus aguas hacia el sur. La faja, al sur de Paraguarí, tiene un ancho de 30 km. mientras que al sur del Río Monday, 100 km. de ancho, limitando al sur, en esta parte, con el alto de Tavai (ver anexo N° 3).

Del Río Paraguay, hacia occidente, los afloramientos rocosos, son muy escasos, se deducen mediante la geofísica. La cuenca sedimentaria de Pilar es poco explorada, por su carácter somero. En el Paraje Cerrito de la ciudad chaqueña de Benjamín Aceval, desaparecen los últimos asomos de la Formación Patiño (Spinzi. A. 1983), que se va hundiendo en fallas escalonadas y abundantes manifestaciones magmáticas

de edad terciaria (ver fotografía N° 76 y anexos). La Empresa “Santa Fe Energy Resources of Paraguay), a realizado estudios geofísicos gravimétricos, cuyos resultados concluyen, que la mayoría de las densidades obtenidas en las mediciones, indican la presencia de sedimentos antiguos, altamente consolidados, confirmado por el anexo N° 3; también sugieren la presencia de pequeñas sub – cuencas (sub – bloques) aisladas, conformadas por rocas ordovícicas. Más al norte, se caracterizan anomalías positivas y negativas, espaciadas en forma pareja (mosaicos), interpretadas como fallas de basamento cristalino, resultante en una serie de pilares tectónicos “HORST” y fosas tectónicas “GRABEN” (Spinzi A. 1997). Al sur, hacia el Argentina, esta el basamento muy cercano a la superficie.

Ya en la zona de Itapúa, donde la influencia del Alto de Tavai, es clara en superficie, produciendo rasgos característicos en el relieve, así la Cordillera de San Rafael, expone elevaciones de hasta 455 metros, sobre el nivel medio del mar y una marcada dirección nor – este, típico de basamento, que actúa como divisoria de aguas locales, desarrollando vertientes que alimentan la Cuenca del Río Paraná y otras opuestas, que alimentan la Cuenca del Río Tebicuary, con sus sub – cuencas, en subordinación a la principal. Es el área donde el Río Paraná cambia drásticamente de rumbo (ver anexo).

La cordillera de San Rafael, intercepta al norte, a la cordillera de Caaguazú, cortándola en ángulo agudo, con estructura singular. Hacia el oeste, se localizan las zonas más bajas, que son susceptibles de anegación, como también las ribereñas al Río Paraná. Siempre en la región de Itapúa, es la interpretación del cambio de dirección del Río Paraná, donde los cobertores superficiales de zonas altas, se refieren a derivados de la descomposición basáltica, coloraciones rojizas y amarillentas, debido a compuestos de hierro, en diferentes grados de oxidación. También existen suelos derivados de las areniscas, aunque menos abundantes, modificados por arrastres de componentes lateríticos. Se debe destacar, que desde el final del periodo geológico Permiano, están marcando fuerte presencia, los materiales lateríticos (ver foto). En las zonas más bajas, se instalaron componentes hidromórficos, que enmascaran profundas estructuras tectónicas.

La geología resumida en este punto (Itapúa), se caracteriza en la predominancia, de materiales basálticos en formas de coladas, no tan espesas como al norte del Alto de Tavai.

Los derrames basálticos, se manifestaron a lo largo la Era Geológica Mesozoica haciendo paroxismo en el cretácico. Las coladas son del tipo intra – cratónico, de ahí su alta contaminación por digestión de las rocas anfitrionas. Entre las coladas basálticas existen asomos o ventanas de areniscas, por emersión de bloques (ver fotos y anexos) o por estiramiento de la columna estratigráfica. Las formaciones basálticas regionales de nuestro país, están denominadas como Formación Alto Paraná y se correlacionan, con la Formación Serra Geral de Brasil. Por lo general los basaltos son de tendencia toleítica, sin distinguirse en las cercanías, aparatos volcánicos inidentificables puntualmente y prominentes, debido a que predominaron efusiones que han sepultado todo rastro anterior, fluyendo principalmente por megafracturas del tipo lineal. Las fuentes y frentes de coladas son difíciles de determinar con reconocimiento de campo, pero si por teledetección, ya que el avanzado estado de intemperismo es patente. En las zonas donde las lavas son más escoriaceas o ligeras, la meteorización es aún más profunda, generando espesos suelos lateríticos. Las coladas basálticas son del tipo mesetiforme o trapps, lo que hace una evolución por erosión de bordes abruptos en retroceso progresivo. Principalmente las coladas basálticas fueron derramadas, sobre remanentes Franco – Erosionados de Areniscas Pérmicas (ver fotografía N° 61 y 60), de manera que se emplazan, en discordancia angular, sobre el Grupo Independencia, Grupo Coronel Oviedo y otros productos erosionados.

Estos sedimentos y remanentes, fueron la fuente de los materiales inter – trapps, mezclados con piroclastitas, indicadores de HIATUS geológicos, con predominancia eólica.

El Alto de Tavai, produce un sistema complejo de cambios de cursos de aguas principales, como el del Río Paraná. Esta estructura tectónica (ver anexo N° 3), produjo un complejo sistema regional de drenaje, con tendencia centrífuga, sobre todo hacia la vertiente del Río Paraná. El mismo hace rotar una red de lineamientos tectónicos, con tendencia este – oeste, hacia el límite con el Departamento de Alto

Paraná y dejando hacia el Departamento Misiones, una red de orientaciones norte - sur, semejando un complejo sistema tectónico en abanico (ver anexo N° 7), cuyo centro está al sur del Departamento de Concepción y el extremo exterior, es el ARCO, que describe el Río Paraná, al torcer paulatinamente su rumbo norte - sur, hacia la dirección este - oeste, para luego ser capturado por el Río Paraguay, conformando un gigantesco DELTA, testimonio de una desembocadura pasada, en el mar del Gran Chaco (ver anexo N° 1, 2, 3, ,4 ,5, 6, 7, 8 y 9).

Este complejo sistema tectono - magmático, emplazado dentro y sobre vasculación de bloques, produce serias discordancias, en el marco de un modelo germánico.

Las fracturas radiales fueron conductos activos de lavas, por el desplazamiento de la masa continental en deriva (ver anexo N° 7), distencionando estructuras en "RIFT", dentro del continente.

Se debe destacar que la tendencia tectónica en las áreas aflorantes del basamento cristalino sur, o donde la cobertura es delgada, es norte - sur y este - oeste, en sistema conjugado (Mollat. 1991).

Las áreas basálticas son afectadas por fracturas que obviamente están relacionadas con el Rifting, mesozoico. Diques y cono intrusivos, se ubican preferentemente a lo largo de estas fracturas (ver fotografías N° 78, 79, 80 y 81), parámetro típico también, para regiones fuera de las áreas basálticas. En zonas de poca cobertura laterítica, se observa una clara tectónica interna, a causa de una sistema de drenaje dendrítico - angular (Mollat 1991).

Los derrames basálticos, han inundado, grandes regiones del Paraguay, cambiando definitivamente la geomorfología. Algunos ríos no tienen causes bien desarrollados, debido a la colmatación de sus valles de lavas. Este estado produce cuencas inciertas, con sinuosos cambios de vertientes, que hasta hoy día están en actividad tectónica, áreas inestables. Un ejemplo es Villarrica, donde un curso de agua, según periodo, corre en direcciones opuestas. El autor de la presente tesis, cree que el proceso de formación de rifting, es ya al final del pérmico, y ya en el año 1975, Banks et al, reportan trayecto norte - sur del Río Paraná, con el Rift del Río Paraná.

En lo referente a la Mega Cizalla Coronel Bogado, se reporta en la Provincia de Corrientes Argentina, manantiales de aguas calientes, debido a la gran profundidad

de las fallas NNW, que producen un escalonamiento de humedales, descritas hacia el oeste, como Cubetas Rellenas y al este, como Roca Firme, con buzamiento regional hacia el nor – este, representada por areniscas coloradas (Entidad Binacional Yacyretá, 1978) el modelo predominante corresponde a un mosaico de bloques tectónicos emersos e inmersos diferencialmente, exponiendo la columna sedimentaria a erosión y más tarde inundada, por gigantescos derrames de lavas de tendencia básica e intermedia (ver anexo 1, 2, 3 y 8).

El escarpe oeste de los basaltos del Paraná, retroceden por erosión (ver fotografías N° 60, 61, 49, 44, 43 y 42), descubriendo o quedando expuestos los alimentadores de los derrames, desde los más antiguos hasta los más tardíos. El magmatismo afecto a un millón de kilómetros cuadrados, con espesores de hasta 1800 metros, 32 derrames sucesivos, en donde algunas coladas alcanzaron 50 metros de espesor, con un volumen total de lavas, calculados en 650000 kilómetros cúbicos. Como se puede entender, las rocas basálticas son más pesadas y descansan sobre rocas sedimentarias más ligeras, lo que produjo una subsidencia, generalizada del depocentro de la cuenca, levantando los bordes del receptáculo, produciendo del lado brasilero, escarpes de más de 1000 metros y áreas expuestas, donde se alimentaban los basaltos.

Probablemente las noritas de la zona del Monday, se deban a modificaciones, de magmas gabroicos, como consecuencia de la digestión, de roca pelítica. En África del Sur, las rocas sedimentarias “KARROO”, del permo – carbonífero, fueron invadidas en el jurásico, por diabasas, que afloran intermitentemente, en un área de 2560000 kilómetros cuadrados. Los compuestos sódicos, requeridos para que el basalto sufra espilitización, probablemente estuvieron en las aguas salinas singenéticas, atrapadas en los sedimentos, cuyas aguas se activaron por calor magmático.

Los cuellos de rocas alcalinas que aparecen por la erosión, son los que también alimentaron las primeras coladas de los trapps del Paraná. Magmatismo diferenciado con eventos tectono – magmáticos, que afectaron gran parte de América del Sur. El magmatismo se inicia, en el periodo geológico pérmico y desde allí estuvo activo

hasta el oligoceno (Viktor Leinz et. al. 1978) y reconocen, que el Río Paraná es una gran “GEOCLASA”, a través de la corteza terrestre (ver anexo N° 10).

Los sedimentos paleozoicos, tienen en Paraguay 2500 metros, pero el magmatismo de Paraná, le inyectó sucesivos y numerosos, pulsos de basanitas, que estiraron la columna estratigráfica, 1500 metros más, compactando extremadamente los sedimentos y rocas. Vale decir que este es el motivo de la edificación del “PLANALTO DE PARANÁ”, si no hubiese sido así, esta parte del continente sud – americano, estaría continuamente inundado, como ocurría en el paleozoico.

Los derrames de lava enrazaron un paisaje escabroso, de bloques emergentes y sub – emergente, en padrones de mosaicos rectangulares y romboédricos (ver anexo N° 8 y fotos). La divisoria de agua del basalto, son los extremos más occidentales de las coladas o final del “PLATEAU” (ver fotografías N° 60 y 61).

El conglomerado Patiño se ha visto, que ha ocupado bloques y sub – bloques en agudas subsidencias, donde sus componentes, fueron productos de la destrucción de rocas alcalinas, precámbricas, lateritas y gran cantidad, de restos del paquete paleozoico. En los bloques de lenta subsidencia, la Formación Patiño se subordina a la Formación Yaguarón. Cuando la Formación Patiño, se encuentra en receptáculos, hundidos por las rocas alcalinas carbonatíticas, es común la aparición de carbonatos en su composición. Cuando la Formación Patiño está inclinada, el efecto se debe a ladeos tectónicos de los mosaicos estructurales (ver fotos).

En la parte norte del Paraguay oriental, la Formación Patiño es más acorde, a la columna estratigráfica de la Cuenca de Paranaíba teniendo en cuenta el modelo de Limma et al 1978. Pero en la Cuenca de Paraná la Formación Patiño se correlaciona con la Formación Pirambóia de Sao Pablo, Minas Gerais, Mato Grosso y Goias, en discordancia con el pérmico.

## **CAPITULO 7**

### **CONSIDERACIONES SOBRE EL ACUIFERO PATIÑO.**

En la Publicación del Boletín Informativo N° 1, de la Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos, de la Secretaría del Ambiente – SEAM. Año: 2003. Se transcribe a continuación uno de sus capítulos Características Geológicas Generales del “SAG”: el acuífero se denomina sistema, porque está conformado por varias unidades litoestratigráficas distintas que, desde el punto de vista hidrogeológico, interactúan entre sí y por lo tanto deben estudiarse en conjunto. Estas unidades fueron formadas en los periodos geológicos Triásico (las llamadas Formaciones Piramboia y Rosario do Sul en el Brasil, la Formación Buena Vista en Uruguay), de hace más de 200 millones de años, y Jurásico (la Formación Botucatu en Brasil, que corresponde a la Formación Misiones en Paraguay o a la Formación Tacuarembó en Argentina y Uruguay), cubiertos en parte con los derrames basálticos del Cretácico.

De ésta forma queda demostrado, que los Fenómenos Tectónicos, son regionales y no restringidos a localidades específicas. La tectónica que formó, el “ACUIFERO MISIONES”, se llama tectónica de placas, cuando empezó el fraccionamiento del Super – Continente, PANGEA, con fracturas formadoras de valles o “Rift”, con extrusivas toleíticas y la expansión del fondo oceánico Atlántico. En los últimos 200 millones de años, la deformación de las placas ha sido mínima, con la prueba del excelente encaje, de los márgenes opuestos de África y Sud – América, lo que apoya la teoría de placas rígidas. El Supercontinente PANGEA, hace 225 millones de años, estaba completo, antes que se inicie la deriva continental, por movimientos

horizontales, más tarde verticales, por vaciamiento inferior de los Bloques, debido a las gigantescas coladas. Creando consecuentemente la tectónica “Gravitacional”, por movimientos rígidos, por flotación diferencial de bloques. Los movimientos de bloques verticales, no fueron acompañados de deformaciones importantes. Ejemplo: levantamientos de mesetas, hundimientos de cuencas tafrogénicas, rellenas con la Formación Patiño. Así debemos entender que la tectónica originaria de la Formación Patiño, es de carácter continental. (ver fotos y anexos). En el cambio de la Era Paleozoica a la Mesozoica, se generaron, miles de réplicas tectónicas, que alojaron los materiales de la Formación Patiño y una vez estabilizadas, la Formación Yaguarón. El Paquete Mesozoico, integrado por el “MISIONES”, y los “BASALTOS DEL PARANA”, es el denominado “SAG”, o “Sistema Acuífero Guaraní”, presente en toda la Cuenca de Paraná – Paraguay y; Brasil; Argentina y Uruguay. (ver anexo N° 6).

Con la investigación se confirmó, la distribución de la Formación Patiño, en múltiples réplicas tectónicas, en toda un región del Continente Sud – Americano (ver fotos y anexos), para una mejor administración del recurso. De esta manera el acuífero delimitado, es ampliamente con características libres y confinadas por cuerpos basálticos.

Según los análisis de la Formación Patiño, realizados en esta tesis, demuestran que la Formación Patiño, en todas las cuencas es inmadura, poca diagénesis.

Son materiales más edafológicos que petrológicos es decir suelos lateríticos cementados o silicificados, con apariencia de lateritas mezcladas y endurecimiento por hierro, como cemento. Existen muchos materiales proclásticos destruidos por alteración, actualmente como hematita y magnetita, clastos líticos rotos, indicios de rellenos posteriores, que actualmente ocupa la matriz. Se encontraron fragmentos de rocas alcalinas, rocas ácidas, riolitas, pumitas, granito barrerito, clastos de oolitas, rocas vítreas volcánicas, cuarcitas, siltitas, cuarzos con extensión ondulante, feldespatos alcalinos, huecos libres, porfidios, areniscas, calcedonia, minerales opacos en abundancia, volcánicas afaníticas, cuarcitas foliadas de basamento, piroclastitas, minerales ferromagnesianos y pseudomorfos de olivinos y piroxenos. Como puede apreciarse en las réplicas tectónicas del Patiño, se depositaron una gran mezcla de

rocas de todas las generaciones en matriz soportada o clastos flotantes, lo que demuestra inmadures. Los abanicos son testimoniales de los procesos rifting (gruesos proximales y finos distales).

En la base del Cerro Patiño (foto 23 y 24), se observa una depositación de componentes en forma suelta que más tarde fue removida, con ingreso o aporte de cristales prismáticos de cuarzo; el fenómeno se lo conoce como: “LAVADO DE MATRIZ”, según los petrólogos.

En la base de la Cantera Cudas (F31 Y 32), se observa roca inmadura, porosa, con fenómenos de engolfamientos en el cuarzo, que son indicativos de proveniencias de rocas volcánicas madres. Presenta poca diagénesis, apariencia de suelo (laterita mezclada).

El conglomerado Patiño, de San Juan Bautista (F35 y 36), tiene pseudomorfos de minerales ferromagnesianos alterados, clastos de limolitas, matriz idéntica a las demás analizadas, fragmentos de riolita, roca heterogénea, restos de otros conglomerados más antiguos (Silúrico?) y restos de rocas eolíticas.

La Formación Patiño es coetánea de los eventos explosivos alcalinos, mientras que la Formación Yaguarón, es coetánea a los eventos de los Trapps de Paraná.

A continuación se transcribe un análisis, de la roca del Cerro Ñandu – á, jurisdicción de Itá, Departamento Central.

### **DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA (MOPC).**

Muestra: 2831

Descripción Microscópica.

Granulometría: diámetro máximo 1,4 mm, diámetro mínimo 0,125 mm.

Redondéz: sub – anguloso a sub – redondeado.

Selección: pobre.

Contacto: puntual y longitudinal, a veces imperceptible.

Composición Mineralógica.

Cuarzo: 95%

Material Arcilloso y Trazas: 5%.

Trazas: opacos, turmalina, mica, feldespato potásico y fragmentos líticos.

Nombre de la Roca: Arenisca conglomerádica.

OBSERVACIÓN: los granos de cuarzos presentan en algunos casos bordes de crecimiento y en otros no se puede diferenciar el contacto. Los feldespatos potásicos se distinguen por los rasgos que han dejado sus maclas, pero su presencia es ínfima.

MACROSCOPIA: la muestra presenta una laminación paralela, que en el microscopio se distingue, por una diferencia granulométrica.

El fuerte componente piroclástico de la Formación Patiño, en todo el Paraguay, está representado, como se puede ver en el anterior análisis petrográfico, por los feldespatos potásicos alterados, restos de piedra pómez, restos de rocas alcalinas, restos de rocas vítreas volcánicas, mezclas ferruginosas endurecidas con mezclas lateríticas, magnetitas y hematitas en abundancia, clastos de todos los tipos de rocas, silicificaciones, indicios de rellenos posteriores, restos de basamento, cuarzo con extinción ondulante, huecos vacíos, calcedonia, muchos minerales opacos alterados como pseudomorfos de minerales ferromagnesianos como olivinos, piroxenos, etc; matriz soportada propio de nubes ardientes y flujos piroclásticos, además de otros que no mencionamos. De manera que se puede asegurar que la Formación Patiño, es una formación sin – genética a los episodios tectono – magmáticos, que afectaron en el mesozoico, a esta parte del continente Sud – Americano.

Las areniscas pérmicas eólicas, se diferencia de las areniscas eólicas del Grupo Misiones, por que las primeras son mejor redondeadas que la segunda.

Al sur de Entre Ríos de la República Argentina, se constato en muchos lugares, la falta del sistema acuífero granular donde los basaltos de Paraná (SAF), se apoyan directamente sobre el basamento cristalino.

En la mesopotamia argentina se vio, una vez finalizado el depósito de litologías gondwanicas, una intensa etapa tectónica, que reactiva viejas estructuras de desplazamientos nor – oeste, que habían dislocado el basamento cristalino y a las sedimentitas superpuestas. Dichas fallas posibilitaron el acceso de las masas basálticas de Serra Geral, con superposición de coladas, con algunas intercalaciones de areniscas. El techo de las rocas basálticas, son de suave pendiente hacia el oeste, no por un esquema estructural, sino por un plano de origen degradativo, por la

intensa denudación, ocurrida durante el cretácico, no deformado a nivel regional, por medio de fallas, con desplazamientos de rumbo (Gentili et al, 1976).

El oeste de Buenos Aires, República argentina, mediante dataciones fosilíferas, se ha comprobado, que el paleozoico termina con una intensa actividad magmática, representada por vulcanitas, piroclastitas, plutonitas y algunas rocas hipabisales (Russo et al, 1974).

Los Sistemas Rifes, predominaron en la depositación del Patiño, en estas arquitecturas se depositaron los materiales del Misiones. Ellos han formado innumerables cuencas o réplicas estructurales del Patiño; cada rift tiene sus particularidades, pero la misma arquitectura. Los formados en el mesozoico, son denominados rifes antiguos. Generalmente son estructuras oceánicas, pero que también se dan en los continentes; el rift precursor del atlántico sur, tiene dirección norte – sur y se denomina depresión Afro – Brasilera, se inicio en el Permo – Trias, con reflejos en el interior del continente, en esfuerzos distensivos este – oeste.

En el lado nor – este del Bloque de Asunción, predominan fallas lítricas, que afectan a la Serie Cordillera, en sus partes hundidas está el conglomerado Patiño, no consolidado.

## **CAPITULO 8**

### **DISCUSIONES**

En el anexo numero 11, se plantean áreas problemas, que deben ser resueltas en trabajos posteriores. Las mismas ya no han podido ser analizadas con detenimiento, a fin de cumplir con los programas propuestos y el cronograma del ante – proyecto. También en el anexo número 11, se localizan los puntos mencionados, en el segundo tomo de esta tesis, o Tomo de Anexos.

El anexo numero 11, utiliza la matriz 1:500000, elaborada por Empresa “THE ANSCHUTZ CORPORATION”, del año 1981, Geologic Map of Eastern Paraguay; Compiled By: F. Wiens. Drawn By: R. Britez; M. L. Iske. Donde se asientan las áreas de discusión y también están plasmados los principales lineamientos, descubiertos en el transcurso de la presente investigación.

Con respecto a los tiempos exactos de emplazamiento de los componentes de la Formación Patiño, no pudieron ser tratados geocronológicamente en los fragmentos de rocas alcalinas incluidas, por sus avanzados estados de descomposición, pero ya se puede aseverar, que la edad actualmente considerada para la Formación Patiño, debe ser aumentada en valores de tiempo. Trabajos posteriores más específicos lo determinarán con más precisión.

Otro factor que debe ser resuelto en investigaciones posteriores, corresponde al hecho de que los clastos profundamente alterados, pudieron deberse a efectos deutéricos o intempéricos o tal vez ambos combinados.

Trabajos más minuciosos, podrán determinar el número de basculamientos sufridos, por los principales bloques y réplicas, que conforman la Formación Patiño, especialmente en Asunción (ver fotografías y anexos).

En esta investigación, no se ha detectado la depositación de la Formación Patiño en cuencas clásica, pero si en cuencas de tipo tafrogénicas, asociadas a rocas magmáticas, especialmente alcalinas, no se descarta que pudieran darse, trabajos con más detalles lo determinarían.

Las cuencas más próximas al “PLATEAU BASÁLTICO”, presentan abundantes restos de la Formación Geológica Tacuary, aparentemente en las cuencas más distantes, no se presentan. Trabajos posteriores deben confirmar esta condición.

La Falla Puerto Paloma, del anexo número 7, tiene una falla melliza más al norte, probablemente es la responsable de la estructura continental: “TORRES – SAG”, ver anexo numero 2. Se cree que por esta estructura ingreso el mar del paleozoico medio. Trabajos regionales posteriores descifrarán este problema.

El Gran Delta del Paraná, que se inicia, en el flanco oriental, en la Mega Cizalla Coronel Bogado (ver anexo 6) probablemente es el resultado de una reactivación muy moderna, que formaron los famosos “ASPERONES GUARANÍTICOS”. Investigaciones posteriores podrán confirmarlo o no.

El cierre del valle Ypacarai, a la altura de la Ciudad de Paraguari, que se puede observar en la fotografía del anexo número 79 – tomo numero 2, en el Portal del Cristo Redentor y Cerro Jhú, puede ser debido al efecto de cizalla, de la estructura tectónica, del anexo numero 2 – tomo 2, llamada Mega Cizalla Coronel Bogado.

## **CAPITULO 9**

### **RESULTADOS**

- La Formación Patiño, de las cuencas tafrogénicas del norte, del Paraguay oriental, tienen carbonatos en las cercanías de cuerpos de carbonatitas.
- La Formación Patiño, de las cuencas tafrogénicas del Departamento de Misiones, poseen restos de la Formación Geológica Pérmica, Tacuary.
- La Formación Patiño, del Bloque de Asunción, tiene restos de granito del basamento cristalino.
- La Formación Patiño del Paraguay, tiene un fuerte componente piroclástico.
- La Formación Patiño en el Paraguay, tiene abundantes mezclas lateríticas.
- La Formación Patiño no se restringe exclusivamente al triángulo rectángulo, formado por los valles de Ypacarai, el del Río Paraguay y el del Caañabé. Sino que tiene una distribución regional por todo el territorio paraguayo.
- La edad mencionada en los libros, para la Formación Patiño, debe ser más antigua.
- La Formación Patiño, es la formación basal, del Grupo Misiones.
- El Misiones, es la parte inferior del “SAG O SISTEMA ACUIFERO GUARANI”, que se extiende en el Paraguay, Brasil, Argentina y Uruguay.
- El Misiones, conforma gran parte de la Era Geológica Mesozoica.

---

## **CAPITULO 10**

### **CONCLUSIONES**

- La Formación Patiño se extiende en toda la República del Paraguay, en componentes alojados, en réplicas tectónicas o cuencas tafrogénicas, desde el norte del Paraguay oriental, hasta el sur, y de igual manera lo hace en la Región Occidental o Chaco paraguayo. De esta forma pasa de ser un acuífero local a un acuífero regional.
- Los componentes de la Formación Patiño, son extremadamente heterogéneos, encontrándose piroclastitas, rocas ácidas vítreas, riolitas, rocas ígneas alcalinas, granitos, cuarcitas, restos de rocas oolíticas, pumitas, siltitas, minerales pseudomorfos ferromagnesianos, calcedonia, óxidos negros y rojos, minerales opacos en abundancia, cuarzos con engolfamientos, cuarzos con extinciones ondulantes, sanidinas alteradas, traquitas alteradas, restos de pórfidos, restos de conglomerados, rocas ígneas afaníticas, fragmentos de areniscas, matriz soportada arcillosa hematítica, espacios vacíos amplios, cuarcitas foliadas y grandes bloques líticos, dispuestos en forma caótica.
- La génesis de la Formación Patiño, corresponde al fraccionamiento en mosaicos, rectangulares y rombo – édricos, del zócalo continental, debido al vaciamiento de cámaras magmáticas, por erupción de rocas ígneas. El agotamiento por volcanismo, acomoda el entramado de bloques tectónicos, en forma diferencial, produciéndose cuencas tafrogénicas de hundimiento rápido, como receptáculo del Patiño. El fraccionamiento en mosaicos, acaecía por las grandes cantidades de lavas que se derramaban, por la apertura del Océano Atlántico, con repercusión dentro del continente. El proceso está señalado en

- el cambio de la era paleozoica a la mesozoica, específicamente se inició en el Permo – Trias.

## **CAPITULO 11**

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar, estudios más minuciosos en el norte del Paraguay oriental, con el fin de diferenciar, las areniscas pérmicas de las areniscas de la Formación Yaguarón.

Se recomienda en trabajos posteriores, reconsiderar la Formación Geológica Aquidabán, al parecer sus materiales, son coetáneos a los del Misiones, debajo de ellos, se ha comprobado que se encuentran las formaciones pérmicas, correlacionables con las del sur.

Se recomienda mejorar los mapas hidrogeológicos y geológicos del Paraguay, haciéndolos más acordes a los de la Región de la Cuenca del Paraná.

Se recomienda, simplificar nuestro actual léxico estratigráfico, a fin de evitar, inútiles actos inflacionarios de nuestros nombres estratigráficos.

La Formación Patiño, conformante tiene su mejor expresión en las cuencas andinas, por lo que se recomienda realizar investigaciones posteriores, para aclarar el contexto de la cuenca Occidental o Chaco, aún poco conocida.

---

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilera R, Pio Barrios F, Wehrle A. 2006, Estudio Hidrogeológico del Municipio de Guarambaré. Maestría en Hidrogeología. FACEN – UNA.
- Anónimo. 2001. Acuífero Patiño. Año II N° 1 – agosto/2001. SPAS. Revista Informativa de la Sociedad Paraguaya de Aguas Subterráneas.
- Ayala E, Figueredo C, Spinzi A, Velázquez C, 2006 – Consideración Hidroquímica del Acuífero Patiño – Paraguay – UNA – FACEN – Maestría en Hidrogeología.
- ABC. 2006. Dos millones de paraguayos dependen del Acuífero Patiño – El ABC Estudiantil. Año 6 N° 222. P18 y 19:
- AGP. 1985 – Código Paraguayo de Nomenclatura Estratigráfica – Asunción – Paraguay. Asociación Paraguaya de Geología.
- Bartel, W: 1994 – Trabajo de Tesis – Bloque de Asunción.
- Cubas N, Garcete A, Meinhold K. 1998. Hoja Villa Florida 5468. Texto explicativo. DRM – MOPC – BGR. Cooperación Paraguaya – Alemana. Mapa Geológico 1:100.000
- Cubas N, Medina A, Spinzi A. 2006. Potencial Hidrogeológico del Bloque de Asunción – Paraguay. Maestría en Hidrogeología. FACEN – UNA.
- Cubas N, Medina A, Spinzi A 2006. Estudio Hidrogeológico del Distrito de Caazapá para la alternativa para satisfacer la demanda de agua potable. Maestría en Hidrogeología. FACEN – UNA.
- De Santa Ana H, Fernández C, Fúlfaro V. 2006. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (Argentina,

- Brasil, Paraguay y Uruguay). Primer Informe Geológico – Consorcio Guaraní – Global Environment Facility (GEP) – Internacional Bank for Reconstruction and Development (WORDL BANK) – Organización de los Estados Americanos – OEA.
- Eckel E, 1959 – Geology and Mineral Resources of Paraguay a Reconaissance Geol, Surv. Prof. Paper 327, Washinton D.C. EE.UU.
- Franco B, Gómez D, Spinzi A, 1980. Levantamiento Geológico del Cerro Patiño. MOPC. DRM. Departamento de Geología.
- Fonseca F. J, Portela C. V, da Rosa Filho E. F, Rostirolla, S. P. 2005 – Conectividade e Compartimentação dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani na Região Central do Arco de Ponta Grossa (Bacia do Paraná, Brasil) - Revista Latino – Americana de Hidrogeología, V. 5, p. 61 – 74, 2005. Pág. 61 – 74.
- Figueredo C., Spinzi A. 2006. Evaluación del Ensayo de Bombeo del Pozo de la Localidad de Loma Barreto. Dpto. de Guairá. Maestría en Hidrogeología. FACEN – UNA.
- González M. 1998. Hoja 5569 – E: 1:100.000. San José – Texto Explicativo – Dir. Rec. Minerales (MOPC) – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) – Coop. Geol. Paraguaya – Alemana. Mapa Geológico.
- González M. Garcete A, Wiens F. 1993. Mapa Geológico del Paraguay. Escala 1:100.000, Hoja 5469 – Paraguarí. Cooperación Geológica. Paraguayo . Alemana, Informe, Mapa y Anexo. Asunción.
- Gómez D, 1991. Ampliación del Estudio de los Valores Culturales de Cerro Guazú (Jasuka Venda) y otros descubrimientos. Aspectos Geológicos. Asociación Paraguaya de Geología. Revista Geológica. N° 1. Pág. 63 – 76 – Asunción.
- Harrington H. 1950 – Geología del Paraguay Oriental. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Contribuciones Científicas Serie E. (Geología) 1: 1 – 82, Buenos Aires.

- 
- Jara S, Spinzi A, Velázquez C. 2006. Vulnerabilidad del Acuífero Patiño en la Localidad de Piquete Cué – Paraguay. Maestría en Hidrogeología. FACEN – UNA.
  - Miraglia L. 1965. Vulcanismo Postplioceno del Paraguay, Sociedad Científica del Paraguay Revista. 8 (2): 1 – 52, Asunción.
  - Memorias. 1995. Segundo Simposio Sobre Aguas Subterráneas y Perforaciones de Pozos en el Paraguay – San Lorenzo – Paraguay.
  - Memorias, 2000. Tercer Curso Sobre Evaluación y Vulnerabilidad de Acuíferos. Pág. 105 – 162. Asunción, Paraguay.
  - Montañó J, 2006. Módulo de Vulnerabilidad de Acuífero, Maestría en Hidrogeología. FACEN – UNA.
  - Oporto O, Vassolo S. 2003. Aguas Subterráneas – el Acuífero Guaraní. Dirección General de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos. Boletín Informativo N° 1 – Secretaría del Ambiente - Paraguay.
  - Palmieri J, Arribas A. 1975. El Complejo Alcalino Potásico de Sapucái (Paraguay – Oriental) Segundo Congreso Iberoamericano de Geología Económica. Actas 4; 267 – 300, Buenos Aires.
  - Palmieri J, Fúlfaro V, Alvarenga D. 1990. República del Paraguay – Mapa Geológico 1986. 1:1000.000. Gobierno de la República del Paraguay, Comisión Nacional de Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo y Departamento de Cooperación Técnica de la Organización de las Naciones Unidas, Asunción.
  - Palmieri J Velázquez J, 1982. Geología del Paraguay. Colección de Apoyo a la Cátedra. Serie Ciencias Naturales. Ediciones Napa, 65 Páginas, Asunción.
  - PNUD. 1988. Pozos Profundos en el Chaco Paraguayo – Banco Electrónico de Datos. Proyecto PAR/88/009 – Filadelfia – Chaco – Ministerio de Defensa Nacional.
  - Putzer H. Geologie Von Paraguay. Beitrage Zur Regionales Geologie der Erde, Gebruder Borntraeger. 182 Páginas. Berlin.
  - Revista Latinoamericana de Hidrogeología. 2005. Volumen N° 5.

- Ribeiro dos Anjos, N. 198 – Informe Sobre el Estado de los Mapas Hidrogeológicos de Paraguay y Uruguay. Mapa Hidrogeológico de América del Sur. Programa Hidrogeológico Internacional.
- SENASA. 1999 – Banco de Datos de Pozos Perforados. Publicación Técnica N° 2.
- Spinzi A. 1979. Nueva Visión Geológica de la Comarca de Areguá. Setiembre Monografía. Inédito.
- Spinzi A. Franco V. 1981 Estudio Geoecológico de Areguá (Cerro Kói y Chororí). MOPC. DRM. Departamento de Geología.
- Spinzi A. Franco V. 1981 Informe de Sondeos en la Ciudad de Areguá. MOPC. DRM. Departamento de Geología.
- Spinzi A. Franco V 1981. Prospección de Minerales de Manganeso del Área de Emboscada. MOPC. DRM. Departamento de Geología.
- Spinzi A Franco V 1981 Reconocimiento Geológico al Sureste de Valenzuela. MOPC. DRM. Departamento de Geología.
- Spinzi A. 1982. Geología del Paraguay Oriental y Consideraciones en Aplicaciones de Ingeniería. MOPC. DRM. Departamento de Geología. Impreso en Mimeografo. Primera Edición.
- Spinzi A. 1982. Geología del Paraguay Oriental y Consideraciones en Aplicaciones de Ingeniería. MOPC. DRM. Departamento de Geología. Impreso en Computadora. Segunda Edición.
- Spinzi A. 1983. Consideraciones Sobre una Formación de Conglomerados en Areguá y Alrededores. Informaciones Científicas 4 (1): 86 – 94. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.
- Spinzi A. 1984. Estudio Hidrogeológico de Itá – Paraguay. Departamento de Geología. Dirección de Recursos Minerales. MOPC.
- Spinzi A. 1991. La Formación Patiño de la Ciudad de San Antonio y Alrededores (Paraguay). Asociación Paraguaya de Geología. Revista Geológica Número 1. Pág 77 – 83. Asunción.
- Spinzi A. Garcete A. 1991. Estudio Geológico para la Captación de Agua Subterránea en la Localidad de Ypacarai – Paraje Itapytangua (Paraguay).

Primer Simposio Sobre Aguas Subterráneas y Perforación de Pozos en el Paraguay.

- Spinzi A. Wiens F. Gutierrez M, Muff R. 1993. Desarrollo Tectonosedimentario del Bloque de Asunción. Paraguay. Cooperación Geológica Paraguayo – Alemana. MOPC. DRM. BGR. Impresión – Asunción.
- Spinzi A. 1996. Metareniscas Columnares de los Cerros Kói y Chororí. Areguá – Paraguay.
- Spinzi A. 1997. Consideraciones Sobre la Génesis de Rocas Blandas del Paraguay.
- Spinzi A, Benítez C. 2001. Misión Geológica. Departamento de Concepción, Amambay y San Pedro. MOPC. DRM.
- Spinzi N. Ayala M. 2004. Educación y Difusión Ambiental. Ecología. Universidad Técnica de Comercialización y Desarrollo. Investigación Documental. Facultad de Ciencias Ambientales. Trabajo de Maestría.
- Spinzi AR. Informe Técnico Hidrogeológico. Pozo Tubular de Curtiembre San Cayetano. Carapeguá – Departamento de Paraguarí. Paraguay Año 2006.
- Spinzi AR. Informe Técnico Hidrogeológico. Pozo Tubular de Curtiembre 12 de Diciembre. Carapeguá – Departamento de Paraguarí. Paraguay Año 2006.
- Spinzi AR. Informe Técnico Hidrogeológico. Pozo Tubular de PRAXAIR, Inpagas S.A. Capiatá. Departamento Central. Paraguay. Año 2006.
- Spinzi A. 2006 Acuífero Patiño en Itá – Paraguay y Componentes Piroclásticos. MOPC. SSME. DRM. Departamento de Geología. San Lorenzo – Paraguay.
- Spinzi A. 2007 Algunas Características Químicas de las Aguas del Basalto en Paraguay. Maestría en Hidrogeología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Asunción.
- Spinzi A. 2007. Distribución del Acuífero Patiño en Paraguay. Anteproyecto de Tesis. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de Asunción. Dirección de Postgrado.

- Spinzi AR. Informe Técnico Hidrogeológico. Pozo Cavado de Curtiembre Itaugua. Itaugua. Departamento Central. Paraguay. Año 2006.
- Spinzi AR. Informe Técnico Hidrogeológico. Pozo Tubular de Agroindustria Tropicana. Villarrica. Departamento Guaira. Paraguay. Año 2006.
- Spinzi AR. Informe Técnico Hidrogeológico. Pozo Tubular de Agua Mineral las Piedras. Ciudad Del Este. Departamento Alto Paraná. Paraguay. Año 2006.
- Stanley W, Saad A, Ohofugi W. 1985. Regional Magnetotelluric Surveys in Hydrocarbon Exploration, Paraná Basin, Brazil. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 69. N° 3. P. N° 346 – 360.
- The Anschutz Corporation. 1981. Geologic Map. Of Eastern Paraguay. 1:500.000. Asunción – Paraguay.
- Thomas y Asociados. 1976. Interpretación ERTS, del Sudeste Paraguayo – Denver – Colorado – EE.UU. Spinzi Chenu. 2006 Traducción.
- Universidad Nacional de Asunción. 2004. Escuela de Estudios de Postgraduación Académica. Reglamento de Trabajo de Tesis de Cursos de Maestría y Doctorado. San Lorenzo – Paraguay.
- Villar F. B. 2007. Gestión de la Basura – Caso Cateura – Doctorado en Gestión Integrada de Recursos Naturales – Universidad Autónoma de Asunción.
- Villar F. B. 2007. Preservación de Agua Dulce y Biodiversidad en Benjamín Aceval – Chaco. Curso de Doctorado en Gestión de Recursos Naturales. Monografía – Tema: Aguas Subterráneas – Universidad Autónoma de Asunción.
- Villar F. B. 2007. Acuífero Patiño – Perfil Físico. Doctorado en Gestión Integrada de Recursos Naturales – Cátedra: Medios Físicos – Universidad Autónoma de Asunción – U.A.A.
- Wiedman J. 1971. Problemas de la Clasificación Estratigráfica y de la Definición de los Límites Estratigráficos – Primer Congreso Hispano – Luso – Americano de Geología Económica. Madrid. Lisboa.

- 
- Wiens F. González M. Muff R. 1993. Desarrollo Tectonosedimentario del Bloque de Asunción, Paraguay. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Actas 1: 27 – 32. Buenos Aires Argentina.
  - Yanosky A. 2001. Redacción Técnica y Científica de Proyectos y Tesis. Universidad Americana – Asunción – Paraguay.